



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN
LEVEL BERBASIS *MODEL REFERENCE*
ADAPTIVE CONTROL (MRAC) PADA
SEPARATOR PT.PETROKIMIA GRESIK**

**IRA NUR WIDIYANTI
NRP 2413 100 021**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - TF 141581

**DESIGN OF LEVEL CONTROL SYSTEM BASED
MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL
(MRAC) ON SEPARATOR PT.PETROKIMIA
GRESIK**

**IRA NUR WIDIYANTI
NRP 2413 100 021**

**Supervisor :
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT**

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ira Nur Widiyanti
NRP : 2413100021
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Sistem Pengendalian *Level* Berbasis *Model Reference Adaptive Control* (MRAC) Pada Separator PT.Petrokimia Gresik” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Juni 2017
Yang membuat pernyataan,



Ira Nur Widiyanti
NRP. 2413 100 021

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL*
BERBASIS *MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL*
(MRAC) PADA SEPARATOR PT.PETROKIMIA GRESIK**

Oleh :

Ira Nur Widiyanti

NRP. 2413 100 021

Surabaya, 20 Juni 2017

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing


Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT

NIPN. 19690507 1995121 001



**Mengetahui,
Ketua Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**


Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

NIPN. 197809022003121002

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN LEVEL
BERBASIS MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL
(MRAC) PADA SEPARATOR PT.PETROKIMIA GRESIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

IRA NUR WIDIYANTI

NRP. 2413 100 021

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T, M.T (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Syamsul Arifin, M.T (Penguji I)
3. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito (Penguji II)
4. Ir. Tutug Dhanardono, M.T (Penguji III)

SURABAYA

Juni 2017

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL* BERBASIS *MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL* (MRAC) PADA SEPARATOR PT.PETROKIMIA GRESIK

Nama : Ira Nur Widiyanti
NRP : 2413 100 021
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang Lelono W, ST, MT

Abstrak

Separator merupakan plant yang berfungsi untuk memekatkan larutan urea hingga konsentrasi 99,7 %. Pemekatan dilakukan dengan cara pemanasan pada *Final Concentration* dan pemvakuman di Separator. Waktu pemekatan dalam Separator diatur dengan ketinggian *level* bawah vessel. *Level* operasi dijaga pada 0,8 m . Pengendalian yang digunakan pada PT.Petrokimia Gresik adalah sistem pengendalian PI. Terdapat kelemahan pada sistem pengendalian PI yaitu ketika ada *disturbance* pada sistem, sistem harus dituning kembali satu-persatu setiap instrumen. Sehingga, pada tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem pengendalian MRAC yang mampu beradaptasi ketika terjadi perubahan parameter *plant* seperti adanya gangguan. Langkah pertama yang dilakukan adalah pengambilan data dan spesifikasi separator, aktuator dan sensor. Langkah kedua adalah pemodelan separator, aktuator dan sensor. Langkah ketiga adalah perancangan MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) meliputi perancangan *model reference*, algoritma *adjustment mechanism*, dan perancangan PI.. Langkah terakhir adalah melakukan pengujian terhadap performansi sistem MRAC yang telah dirancang dengan pengujian variasi gain adaptasi, pengujian tracking set point naik dan turun serta pengujian pemberian gangguan. Nilai gain adaptasi yang sesuai untuk sistem MRAC adalah $\gamma_1 = 0,2649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$. Perancangan kontroler dan sistem MRAC pada separator dapat beroperasi dengan optimal karena sistem dapat beradaptasi terhadap adanya perubahan *set point* naik dan turun serta dapat beradaptasi terhadap adanya gangguan dengan baik.

Kata kunci : Gain adaptasi, PI, Separator, Sistem MRAC

**DESIGN OF LEVEL CONTROL SYSTEM BASED MODEL
REFERENCE ADAPTIVE CONTROL (MRAC) ON
SEPARATOR PT.PETROKIMIA GRESIK**

Name : Ira Nur Widiyanti
NRP : 2413 100 021
Department : Teknik Fisika
Supervisor : Dr. Bambang Lelono W, ST, MT

Abstract

Separator is a plant that serves to concentrate urea solution to 99.7% concentration. The concentration made by warming up the Final Concentration and vacuum in Separator. The concentration time in the Separator is set to the level of the lower level of the vessel. Operating level is maintained at 0.8 m. The control used in PT.Petrokimia Gresik is PI control system. There is a weakness in the PI control system , when there is disturbance on the system, the system must be redone one by one each instrument. Thus, in this final project designing MRAC control system that can adapt when there is a change of plant parameters such as disturbance. The first step taken is data retrieval and separator specifications, actuators and sensors. The second step is separator, actuator and sensor modeling. The third step is the design of MRAC (Model Reference Adaptive Control) covering reference model design, adjustment mechanism algorithm, and PI design. The final step is to test the performance of MRAC system which has been designed by testing adaptation gain variation, testing point set point up and down As well as testing the provision of disturbance. The corresponding adaptation gain values for the MRAC system are $\gamma_1 = 0,2649$ and $\gamma_2 = 0,0008$. The design of the controller and MRAC system on the separator can operate optimally because the system can adapt to the change of set point up and down and can adapt to the existence of the disturbance well.

Keywords : adaptation gain, PI, Separator, MRAC system

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN *LEVEL* BERBASIS *MODEL REFERENCE ADAPTIVE CONTROL* (MRAC) PADA SEPARATOR PT.PETROKIMIA GRESIK”**

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D.selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
4. Bapak Dr. Ir. Zulkifli,M.Sc., selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Bapak Eka Prasetya, Tumingan, Lugas dan Ibe selaku pembimbing di PT.Petrokimia Gresik yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama mengambil data di PT.Petrokimia Gresik
6. Kedua orang tua (Bapak Hadi Susanto dan Ibu Dian Arini) serta saudara (Mifthania Karina). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
7. Seluruh teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2013, terima kasih untuk semuanya.
8. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.

9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
<i>Title Page</i>	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	vi
LEMBAR PENGESAHAN II.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	xi
<i>Abstract</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR NOTASI	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Sistem Pengendalian.....	5
2.2 Sistem Kontrol Adaptif.....	6
2.3 Sistem Kontrol Adaptif MRAC.....	8
2.4 MRAC dengan Lyapunov Rule	9
2.5 Kontroler Proporsional Integral.....	12
2.6 Separator.....	13
2.7 Pemodelan Separator	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Pengambilan data dan spesifikasi <i>Plant</i>	18
3.2 Pemodelan <i>Plant</i>	19
3.3 Pemodelan Matematis Aktuator	21
3.4 Pemodelan Matematis <i>Level</i> Transmitter	22
3.5 Validasi Pemodelan <i>Plant</i>	23
3.6 Perancangan Pengendalian <i>Proportional</i> dan <i>Integral</i> (PI)	24
3.7 Perancangan Pengendalian MRAC	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengujian dengan variasi Gain Adaptif (γ)	33
4.2 Pengujian <i>Tracking</i> Naik	36
4.3 Pengujian <i>Tracking</i> Turun	38
4.4 Pengujian dengan Pemberian Gangguan	39
BAB V PENUTUP	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	xxv
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Blok Sistem Pengendalian (Gamayanti, 2011).....	6
Gambar 2. 2 Diagram blok sistem kontrol adaptif (Astrom & Wittenmark, 2006).....	7
Gambar 2. 3 Diagram Blok skema MRAC (Astrom & Wittenmark, 2006).....	8
Gambar 2. 4 Diagram Blok Pole Placement (Fatih, Wahyudi, S.T, M.T, & Setiyono, S.T, M.T, 2009).....	10
Gambar 2. 5 Diagram blok MRAC berdasar teori kestabilan <i>Lyapunov</i> (Fatih, Wahyudi, S.T, M.T, & Setiyono, S.T, M.T, 2009).....	12
Gambar 2. 6 P&ID Separator (Anonim, 2017).....	14
Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian	17
Gambar 3.2 Simulink Plant Separator	20
Gambar 3.3 Diagram Blok Simulink Control Valve	22
Gambar 3.4 Diagram Blok Simulink Level Transmitter	23
Gambar 3.5 Respon sistem validasi pemodelan <i>plant</i> Separator.....	24
Gambar 3.6 Diagram Blok Sistem Pengendalian Closeloop	25
Gambar 3.7 Simulink Sistem Pengendalian Closeloop PI Separator	25
Gambar 3.8 Respon Sistem Perancangan Pengendalian PI	26
Gambar 3.9 Diagram Blok Pole Placement.....	28
Gambar 3.10 Simulink MRAC.....	30
Gambar 3.11 Respon Sistem MRAC	31
Gambar 4. 1 Respon sistem untuk variasi nilai gain adaptasi (γ).....	34
Gambar 4. 2 Respon sistem untuk uji <i>tracking</i> naik	37
Gambar 4. 3 Respon sistem untuk uji <i>tracking</i> turun	38
Gambar 4. 4 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 0,01668 m ³ /s	40
Gambar 4. 5 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 0,0278 m ³ /s	41
Gambar 4. 6 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 0,1251 m ³ /s	42

Gambar 4. 7 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 1,7236
m³/s43

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Operasi Separator (FA-203).....	18
Tabel 3. 2 Data Desain Separator (FA-203).....	18
Tabel 3. 3 Data Operasi <i>Level Transmitter</i> (Sensor).....	18
Tabel 3. 4 Data Operasi Control Valve (Aktuator)	19
Tabel 4. 1 Data performansi berdasarkan karakteristik respon sistem dari masing-masing gain adaptasi.....	35

DAFTAR NOTASI

e	= <i>error</i>
y	= <i>output plant</i>
y_m	= output model referensi
γ	= gain adaptasi
Q_{in}	= Laju aliran <i>input liquid</i> (m^3/s)
Q_{out}	= Laju aliran <i>output liquid</i> (m^3/s)
Q_{max}	= Laju aliran maksimum (m^3/s)
Q_{min}	= Laju aliran minimum (m^3/s)
ρ_{liquid}	= Massa jenis <i>liquid</i> (kg/m^3)
H_{max}	= <i>Level</i> maksimum (m)
H_{min}	= <i>Level</i> minimum (m)
D_a	= Diameter atas separator (m)
D_b	= Diameter bawah separator (m)
L	= Tinggi tangki (m)
P	= Tekanan (mmHg)
P_{max}	= Tekanan maksimum (psi)
P_{min}	= Tekanan minimum (psi)
T	= Temperature ($^{\circ}C$)
I_{max}	= Arus maksimum (mA)
I_{min}	= Arus minimum (mA)
$\rho \frac{dV}{dt}$	= Laju perubahan massa separator
$\sum m_{in}$	= Total laju massa masukan (<i>input</i>)
$\sum \dot{m}_{out}$	= Total laju massa keluaran (<i>output</i>)
V	= Volume separator (m^3)
A	= Luas penampang Separator (m^2)
h	= Ketinggian / <i>level</i> (m)
$m_b(s)$	= laju aliran liquid (m^3/s)
U (s)	= sinyal masukan ke control valve (Amp)
K_{cv}	= Gain total control valve
τ_{cv}	= time constant control valve (s)
T_v	= waktu <i>stroke</i> penuh (s)

R_v = Perbandingan konstanta waktu *inverent* terhadap waktu *stroke*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Petrokimia Gresik merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dalam lingkup Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI yang bernaung dibawah Holding Company PT Pupuk Sriwidjaya (Pusri) Palembang. PT Petrokimia Gresik berusaha dalam bidang produksi pupuk, bahan kimia, dan jasa lainnya. Saat ini PT. Petrokimia memiliki 3 unit pabrik yaitu Departemen Produksi I (Pabrik Pupuk Nitrogen), Departemen Produksi II (Pabrik pupuk fosfat dan pupuk NPK), Departemen Produksi III (Pabrik Asam Fosfat). Produk – produk pupuk dari PT Petrokimia Gresik antara lain : Phonska, Urea, ZA, TSP/SP-36, ZK, DAP, NPK, KCI, Fosfat Alam dan Amonium Phospate.

Plant Separator terletak pada Unit Konsentrasi di Pabrik Urea, Departemen Produksi I. Plant separator merupakan plant terakhir dalam proses pemekatan larutan urea pada unit konsentrasi. Separator (FA-203) berfungsi untuk memekatkan larutan urea hingga konsentrasi 99,7 %. Pemekatan dilakukan dengan cara pemanasan pada *Final Concentration* (EA-202) dan pemvakuman di Separator (FA-203). Waktu pemekatan dalam Separator (FA-203) diatur dengan ketinggian *level* bawah vessel. *Level* operasi dijaga pada 0,8 m .

Dalam mempertahankan *level*, dibutuhkan suatu sistem pengendalian yang baik agar keberlangsungan proses berjalan baik sehingga menghasilkan produk yang sesuai. Pengendalian yang digunakan pada PT.Petrokimia Gresik adalah sistem pengendalian PI. Dalam menunjang sistem ini dilakukan *control* manual pada setiap instrumen dan melakukan tuning manual atau *trial error*. Sistem ini ditemukan banyak kelemahan yaitu ketika terdapat *disturbance* pada sistem, maka sistem harus dituning kembali satu-persatu setiap instrumen. Tentu saja peristiwa ini merugikan perusahaan baik dari segi ekonomi maupun segi material. Untuk memecahkan masalah tersebut dapat diselesaikan menggunakan sistem pengendalian MRAC (*model reference adaptive control*).

Sistem pengendalian MRAC dapat beradaptasi terhadap perubahan parameter *plant* seperti adanya gangguan (Fatih, 2009). Sehingga sistem tetap berjalan meskipun terdapat gangguan. Parameter-parameter *plant* dan kontroler beradaptasi terhadap sistem dengan proses *updating* parameter atau estimasi. Parameter-parameter dari hasil estimasi digunakan untuk *update* parameter-parameter *plant* dan kontroler hingga tercapai keluaran sistem sesuai dengan model referensinya.

Beberapa penelitian sebelumnya yang telah menggunakan sistem kontrol adaptif untuk pengendalian *plant* di industri diantaranya pada (Fatih, 2009) yang merancang MRAC untuk kontrol *level* pada vessel menggunakan metodel teori kestabilan *Lyapunov*, menghasilkan respon sistem dapat mengikuti respon model reference ketika diberikan gangguan. Pada (Chandra, 2012) merancang MRAC untuk kontrol pH, menghasilkan respon pengendalian pH menggunakan konsep self-tuning PID melalui MRAC memiliki bentuk yang lebih landai dibanding dengan pengendalian menggunakan auto switch PID. Dan Pada (Sylvia, 2014) merancang MRAC untuk kontrol temperatur pada CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*), menghasilkan respon sistem yang baik dengan pemilihan gain adaptasi yang sesuai.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancang sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik. Sehingga diharapkan sistem pengendalian *level* berbasis MRAC ini mampu beradaptasi dengan melakukan pengaturan terhadap parameter kontrol yang terjadi pada sistem tanpa harus mentuning satu persatu setiap instrumen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Berapa nilai gain adaptasi yang mampu bekerja pada sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik?

2. Apakah sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik mampu bekerja dengan adanya perubahan *set point* ?
3. Apakah sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik mampu bekerja dengan adanya gangguan ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Didapatkan nilai gain adaptasi yang mampu bekerja pada sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik.
2. Didapatkan sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik yang mampu bekerja dengan adanya perubahan *set point*.
3. Didapatkan sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik yang mampu bekerja dengan adanya gangguan.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah maka batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Pemodelan *plant* yang ditinjau hanya pada Separator Urea Unit Konsentrasi tipe Silinder Vertikal PT. Petrokimia Gresik.
2. Besaran yang dijaga nilainya agar tetap adalah nilai *level* (m) dan besaran yang diubah-ubah adalah nilai laju aliran yang masuk (kg/s).
3. Pada model yang dirancang tidak ada kerugian panas yang terbuang ke lingkungan
4. Tinjauan penurunan model matematis *plant* berdasarkan neraca kesetimbangan massa
5. Pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 4-7 Maret 2017 selama selang 1x24 Jam.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

a. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika laporan.

b. BAB II DASAR TEORI

Pada bab II ini berisi tentang teori yang menunjang penelitian berupa teori tentang sistem pengendalian, sistem kontrol adaptif, sistem kontrol adaptif MRAC, Teori Kestabilan Lyapunov, Kontroler Proporsional Integral, Separator, Pemodelan Separator.

c. BAB III METODOLOGI

Pada bab III ini berisi tentang langkah-langkah perancangan MRAC (*model reference adaptive control*) dengan Teori Kestabilan Lyapunov menggunakan Simulink MATLAB.

d. BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV ini berisi tentang analisis hasil perancangan MRAC (*model reference adaptive control*) dengan Teori Kestabilan Lyapunov. Terdapat tiga analisis yaitu analisis nilai gain adaptif yang sesuai, pengaruh uji tracking terhadap sistem dan pengaruh gangguan terhadap sistem.

e. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab V ini berisi tentang kesimpulan hasil yang didapatkan setelah dilakukan perancangan MRAC (*model reference adaptive control*) dengan Teori Kestabilan Lyapunov dan saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

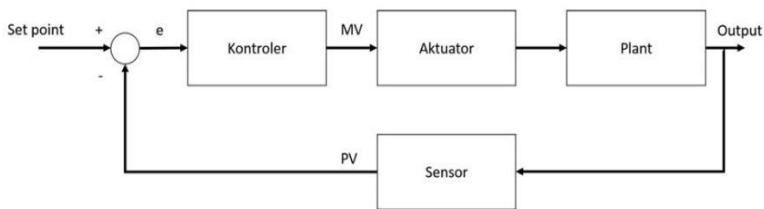
Dalam bab ini berisi tentang teori dasar yang melandasi alur berfikir dalam menyelesaikan permasalahan dan mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Teori – teori tersebut mencakup hal – hal yang mendukung dan menjadi dasar rujukan dalam tugas akhir. Pengambilan dasar teori berasal dari text book, jurnal ilmiah yang dipublikasikan melalui internet, Intruction Manual Book yang di akses dari perpustakaan perusahaan tempat penulis mengambil data. Pembuatan model proses dengan mengambil beberapa asumsi atau pendekatan yang didasarkan pada berbagai referensi juga disajikan dalam bab ini. Model proses yang telah didapatkan akan digunakan pada bab selanjutnya untuk di simulasikan pada program Simulink Matlab.

2.1 Sistem Pengendalian

Sistem merupakan sekumpulan perangkat yang saling bekerja sama untuk mencapai tujuan tertentu (Gamayanti, 2011). Pengendalian atau kontrol adalah upaya yang dilakukan untuk menjaga atau mencapai kondisi yang diinginkan pada sistem fisik dengan mengubah variabel tertentu yang dipilih. Pengendalian dapat juga berarti mengukur nilai dari variabel sistem yang dikontrol dan menerapkan variabel yang dimanipulasi ke sistem untuk mengoreksi atau membatasi penyimpangan nilai yang diukur dari nilai yang dikehendaki. Sistem pengendalian merupakan sistem yang komponen-komponennya telah dikonfigurasi untuk menghasilkan karakteristik sistem yang diinginkan.

Dalam melakukan pengendalian diperlukan satu komponen penting yaitu kontroler. Kontroler adalah komponen dalam sistem pengendalian yang menghasilkan sinyal kontrol. Dalam sistem pengendalian khususnya sistem pengendalian loop tertutup, kontroler akan membandingkan setpoint dengan variabel keluaran (keluaran terukur), menghitung berapa banyak koreksi yang perlu dilakukan, dan mengeluarkan sinyal koreksi (sinyal kontrol) sesuai dengan perhitungan tadi.

Elemen utama pada sistem pengendalian sesuai dengan diagram blok pada Gambar 2.1 adalah plant, kontroler, aktuator, dan sensor. Plant merupakan elemen yang dikendalikan nilai keluarannya. Kontroler adalah yang bertugas mengendalikan keluaran dari plant dan memperbaiki performa dari suatu sistem pengendalian. Aktuator atau biasa disebut final control element adalah perangkat yang berhubungan langsung dengan plant. Sensor berfungsi untuk membaca nilai keluaran dari plant.



Gambar 2. 1 Diagram Blok Sistem Pengendalian (Gamayanti, 2011)

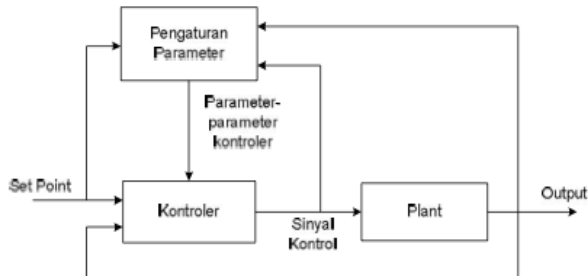
Plant adalah nama lain untuk sistem. Plant adalah seperangkat peralatan mungkin hanya terdiri dari beberapa bagian mesin yang bekerja bersama-sama, yang digunakan untuk melakukan suatu operasi tertentu. Pada sistem pengendalian, setiap obyek fisik yang dikontrol disebut plant. Nilai keluaran atau output yang dihasilkan sistem akan diukur oleh sensor sebagai acuan perbaikan nilai kesalahan oleh kontroler.

Pada sistem pengendalian ada tiga parameter nilai yaitu set point atau set value (SV), manipulated value (MV), dan process value (PV). Set point merupakan nilai dari keluaran proses atau plant yang kita kehendaki. Manipulated value (MV) atau biasa disebut dengan sinyal kontrol merupakan keluaran dari kontroler, sedangkan process value (PV) merupakan hasil pembacaan dari sensor terhadap nilai keluaran dari plant.

2.2 Sistem Kontrol Adaptif

Sistem Kontrol Adaptif adalah sistem kontrol dimana parameter kontrol dapat diatur dan memiliki mekanisme untuk

mengatur parameter tersebut (Astrom & Wittenmark, 2006). Skema teknik kontrol adaptif berbeda dengan skema teknik control pada umumnya. Pada Gambar 2.2 diperlihatkan skema teknik kontrol adaptif.



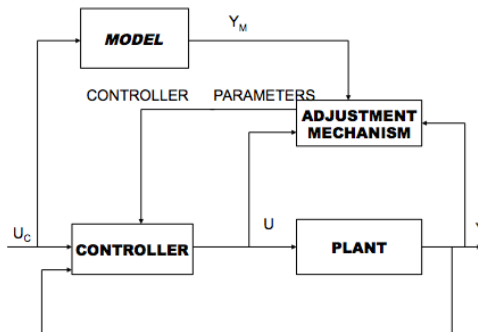
Gambar 2. 2 Diagram blok sistem kontrol adaptif (Astrom & Wittenmark, 2006)

Loop pertama pada Gambar 2.2 adalah loop umpan balik normal antara output proses dengan kontroler sedangkan loop kedua adalah loop yang digunakan untuk melakukan mekanisme pengaturan parameter kontroler. Pada loop kedua dilakukan proses untuk update parameter-parameter kontroler maupun parameter plant sesuai dengan skema adaptif yang digunakan.

Kelebihan dari teknik kontrol adaptif adalah terletak pada adanya estimasi dari plant sehingga untuk mendapatkan kontroler yang baik diperlukan suatu persamaan untuk memodelkan plant dengan akurat. Persamaan untuk memodelkan plant bisa didapat dengan menggunakan hukum-hukum fisika sehingga plant akan dapat dimodelkan sebagai persamaan dengan berbagai macam parameter. Tetapi, pada umumnya parameter-parameter atau nilai yang akurat parameter dari plant tidak diketahui. Dengan mengestimasi parameter-parameter tersebut baik secara on-line maupun off-line, lalu secara eksplisit mengubah parameter-parameter tersebut pada kontroler, maka performansi sistem yang lebih baik dapat dicapai.

2.3 Sistem Kontrol Adaptif MRAC

Model Reference Adaptive Control merupakan salah satu skema kendali adaptif dimana performansi keluaran sistem mengikuti performansi keluaran model referensinya (Astrom & Wittenmark, 2006). Parameter kontroler diatur melalui mekanisme pengaturan yang didasarkan pada error yang merupakan selisih antara keluaran plant dengan keluaran model referensi. Pada dasarnya MRAC bertujuan untuk memecahkan masalah yang spesifikasi performansinya digambarkan dalam bentuk model referensi. Model ini menyatakan bagaimana proses output seharusnya merespon secara ideal. Diagram blok dari skema MRAC ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Diagram Blok skema MRAC (Astrom & Wittenmark, 2006)

Dari gambar 2.3 dijelaskan bahwa MRAC terdiri dari 3 komponen utama yaitu :

- Model Referensi sebagai respon ideal yang ingin dicapai dari sebuah plant. Hasil dari output plant (Y), diharapkan akan mendekati dengan output model referensi Y_m . Selisih dari Y dan Y_m akan didefinisikan dengan error (e) dengan persamaan sebagai berikut :

$$e = y - y_m \quad (2.1)$$

- Adjustment mechanism* sebagai komponen yang mengatur output dari plant agar dapat mengikuti output dari model

referensi. Teknik yang digunakan pada adjustment mechanism ini adalah Teori Kestabilan Lyapunov. Output dari adjustment mechanism yaitu parameter pengendali (K_p, K_i).

- c. Kontroler sebagai pengubah pengatur dari plant. Kontroler akan mengubah u_c menjadi $u(t)$ setelah diberi parameter pengendali (K_p, K_i) dari adjustment mechanism.

2.4 MRAC dengan Lyapunov Rule

A.M. Lyapunov memiliki dua metode untuk menentukan kestabilan dinamik yang dapat digambarkan dalam persamaan diferensial biasa. Pada metode ke dua dapat ditentukan kestabilan sebuah sistem tanpa harus menyelesaikan persamaan-persamaan keadaannya, yaitu dengan menggunakan fungsi Lyapunov atau suatu khayalan energi. Fungsi ini didasarkan pada x_1, x_2, \dots, x_n dan t serta didasarkan dengan $V(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$ atau lebih sederhana dengan $V(x, t)$.

Pada metode Lyapunov kedua ini perilaku tanda $V(x, t)$ dan turunannya terhadap waktu $\frac{dV(x, t)}{dt}$ memungkinkan kita untuk memperoleh informasi tentang kestabilan.

Diketahui sistem dinyatakan oleh persamaan :

$$\dot{x} = f(x, t) \quad (2.2)$$

dimana $f(0, t) = 0$ untuk semua t

Jika fungsi skalar $V(x, t)$ mempunyai turunan parsial pertama kontinu dan memenuhi persyaratan berikut :

1. $V(x, t)$ definit positif
2. $\dot{V}(x, t)$ definit negatif

maka keadaan setimbang pada titik awal adalah stabil seragam secara garis lurus (*uniform asyymthotic*).

Jika diberikan suatu sistem yang dinyatakan seperti persamaan (2.2) tapi dimana $f(0, t) = 0$ untuk semua $t \geq t_0$. Suatu fungsi scalar $V(x, t)$ yang mempunyai turunan parsial pertama kontinu dan memenuhi persyaratan berikut:

1. $V(x, t)$ definit positif
2. $\dot{V}(x, t)$ semi definit negatif

3. $\dot{V}(\emptyset(t; x_0, t_0)t)$ tidak menjadi nol pada $t \geq t_0$ untuk setiap t_0 dan setiap $x_0 \neq 0$, dimana $\emptyset(t; x_0, t_0)$ menyatakan trayektori atau solusi diawali dari x_0 dan t_0 .

Maka keadaan kesetimbangan dititik awal dari sistem akan stabil seragam secara garis lurus.

Perancangan algoritma pengaturan parameter sistem adaptif dengan teori kestabilan Lyapunov didahului dengan melakukan penurunan persamaan diferensial dari error,

$$e = y - y_m \quad (2.3)$$

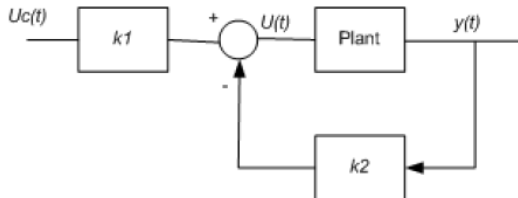
Pada persamaan error diatas terdapat parameter-parameter yang dapat diatur untuk mencari fungsi Lyapunov dan mekanisme adaptasi sistem yang akan membuat error menjadi nol. Diinginkan respon sistem mengikuti model sistem persamaan berikut :

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b_m u_c \quad (2.4)$$

dan persamaan sistem proses adalah

$$\frac{dy}{dt} = -a y + b u \quad (2.5)$$

Pada perancangan ini digunakan kontroler dengan algoritma penempatan Pole Placement, dimana blok diagramnya dapat dilihat sebagai berikut,



Gambar 2. 4 Diagram Blok Pole Placement (Fatih, 2009)

Persamaan kontroler sistem akan dihasilkan seperti persamaan berikut :

$$u(t) = k_1 u_c(t) - k_2 y(t) \quad (2.6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) dan (2.6), maka diperoleh nilai parameter k_1 dan k_2 seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{b_m}{b} \\ k_2 &= \frac{a_m - a}{b} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Error sistem merupakan selisih antara keluaran sistem dengan keluaran model yang ditunjukkan oleh persamaan (2.3). Untuk membuat *error* yang kecil, maka dilakukan penurunan persamaan *error*.

$$\frac{de}{dt} = -a_m e - (bk_2 + a - a_m)y + (bk_1 - b_m)u_c \quad (2.8)$$

Error akan menuju nilai nol ketika parameter-parameternya sama seperti pada persamaan (2.7). Agar nilai parameter k_1 dan k_2 sesuai dengan harga yang diinginkan maka dilakukan perancangan mekanisme pengaturan parameter. Diasumsikan $b\gamma > 0$ maka fungsi kuadrat Lyapunov didapatkan sebagai berikut:

$$V(e, k_1, k_2) = \frac{1}{2} \left(e^2 + \frac{1}{b\gamma} (bk_2 + a - a_m)^2 \right) + \frac{1}{b\gamma} (bk_1 - b_m)^2 \quad (2.9)$$

Fungsi diatas akan nol ketika nilai *error* nol dan parameter kontroler sesuai dengan harga yang diinginkan. Agar fungsi memenuhi kualifikasi sebagai fungsi Lyapunov, turunan $\frac{dV}{dt}$ harus negatif.

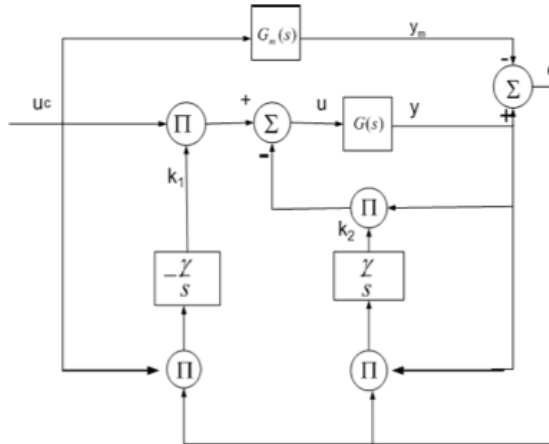
$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= e \frac{de}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \frac{dk_2}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \frac{dk_1}{dt} \\ &= -a_m e^2 + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \left(\frac{dk_2}{dt} - \gamma y e \right) + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \left(\frac{dk_1}{dt} + \gamma u_c e \right) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dari persamaan (2.10) diperoleh persamaan untuk melakukan update parameter :

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma_1 u_c(t) e \quad (2.11)$$

$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma_2 y(t) e \quad (2.12)$$

Diagram blok MRAC berdasarkan teori kestabilan *Lyapunov* dengan algoritma kontroler *pole placement* dapat disusun sesuai gambar 2.5 dibawah ini



Gambar 2. 5 Diagram blok MRAC berdasar teori kestabilan *Lyapunov* (Fatih, 2009)

2.5 Kontroler Proporsional Integral

Kontroler proporsional (P) memiliki sinyal keluaran sebanding dengan sinyal kesalahan sistem. Artinya sinyal kontrol akan langsung mengubah sinyal kesalahan dikalikan dengan suatu konstanta proporsionalnya (Mahmod, 2016). Kontroler proporsional memiliki nilai konstanta proporsional (K_p) mempengaruhi cepatnya respon kontroler untuk mencapai nilai setpoint. Semakin besar nilai K_p maka respon akan semakin cepat, namun jika nilai K_p besar akan menyebabkan respon overshoot dan osilasi. Persamaan (2.13) merupakan persamaan kontroler proporsional.

$$u(t) = k_p (t) \quad (2.13)$$

Kontroler integral (I) memiliki sinyal keluaran integral dari eror sistem. Dengan kata lain, sinyal keluaran kontroler integral adalah luas bidang yang dibentuk oleh sinyal error. Persamaan (2.14) merupakan persamaan kontroler integral.

$$u(t) = k_i \int e(t)dt = k_p \frac{1}{\tau_i} \int e(t)dt \quad (2.14)$$

Kontroler integral dapat mengeliminasi error steady state. Selain itu kontroler integral responnya membutuhkan selang waktu tertentu sehingga terkesan memperlambat respon. Kontroler PI merupakan gabungan dan memiliki sifat dari kontroler proporsional dan integral. Persamaan (2.15) merupakan persamaan kontroler PI.

$$u(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int e(t) dt \right] \quad (2.15)$$

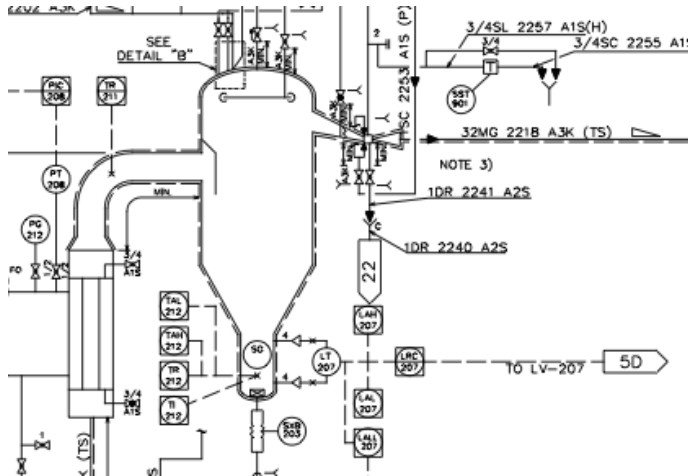
Performa kontroler PI sangat ditentukan oleh nilai parameter P dan I. Untuk memenuhi spesifikasi sistem pengendalian yang diinginkan, parameter PI harus diperhitungkan terlebih dahulu dengan berbagai metode yang sesuai dengan sistem atau plant (Mahmod, 2016).

2.6 Separator

Separator (FA-203) terletak pada Unit Konsentrasi yang berfungsi untuk memekatkan larutan urea hingga konsentrasi 99,7 % (Anonim, 2017). Pemekatan dilakukan dengan cara pemanasan pada Final Concentration (EA-202) dan pemvakuman di separator FA-203. Larutan urea dari FA-202A dipanaskan pada EA-202 menggunakan steam tekanan rendah 4,0 kg/cm²g hingga temperatur 138 - 140°C. Apabila temperatur terlalu rendah dari rentang ini akan menyebabkan pembentukan padatan/kristal urea pada pipa dan vessel, karena titik leleh urea pada tekanan desain alat adalah 138oC. Tetapi, apabila temperatur terlalu tinggi akan meningkatkan pembentukan biuret.

Tekanan operasi pada FA-203 harus dibawah 30 mmHg abs. Jika tekanan lebih dari 30 mmHg abs, penguapan air tidak akan mencukupi lagi dan molten urea akan memiliki kandungan uap yang tinggi. Waktu pemekatan dalam FA-203 diatur dengan ketinggian *level* bawah vessel. *Level* operasi dijaga pada 70-86% (tergantung pada kapasitas produksi) . *Level* yang terlalu tinggi akan menyebabkan peningkatan pembentukan biuret. Larutan urea dikirim ke tahap pembutiran. Setelah larutan dipekatkan 99,8% berat urea (termasuk kandungan biuret) dibawah tekana vakum 25 mmHg dalam final separator, larutan tersebut dipompa ke prilling tower dengan pompa molten urea. Uap air yang

dipanaskan dalam final separator diolah pada seksi process condensate treatment.



Gambar 2. 6 P&ID Separator (Anonim, 2017)

2.7 Pemodelan Separator

Sistem pengendalian *level* pada separator berfungsi untuk menjaga suplai larutan urea yang akan dipompa ke top prilling tower agar tidak melebihi atau kekurangan dan sesuai kapasitas tangki yang telah ditetapkan. Untuk memahami dinamika proses didalam separator, maka perlu diketahui perubahan apa saja yang terjadi. Di dalam separator terjadi perpindahan massa yaitu massa yang masuk adalah flow rate input liquid sedangkan massa yang keluar berupa flow rate output liquid yang menuju top prilling tower. Sehingga untuk memodelkan dinamika proses pada separator menggunakan pendekatan kesetimbangan massa. Menurut William Luyben (1985), pendekatan model yang dilakukan dengan pendekatan kesetimbangan massa adalah akumulasi selisih dari laju aliran yang masuk dengan laju aliran yang keluar. Dengan menggunakan persamaan hukum kesetimbangan massa, maka proses pada Separator dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\left[\begin{matrix} \text{laju perubahan} \\ \text{massa} \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{input} \end{matrix} \right] - \left[\begin{matrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{output} \end{matrix} \right]$$

Dengan menggunakan hukum kesetimbangan massa maka model matematis separator dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} \quad (2.16)$$

Apabila $V = A \times h$ dan $\dot{m} = \rho_{liquid} \times Q$ maka :

$$\rho_{liquid} A \frac{dh}{dt} = \sum \rho_{liquid} Q_{in} - \sum \rho_{liquid} Q_{out} \quad (2.17)$$

Karena nilai ρ_{liquid} memiliki nilai yang sama dapat dihilangkangkan sehingga persamaan menjadi :

$$A \frac{dh}{dt} = (Q_{in} - Q_{out}) \quad (2.18)$$

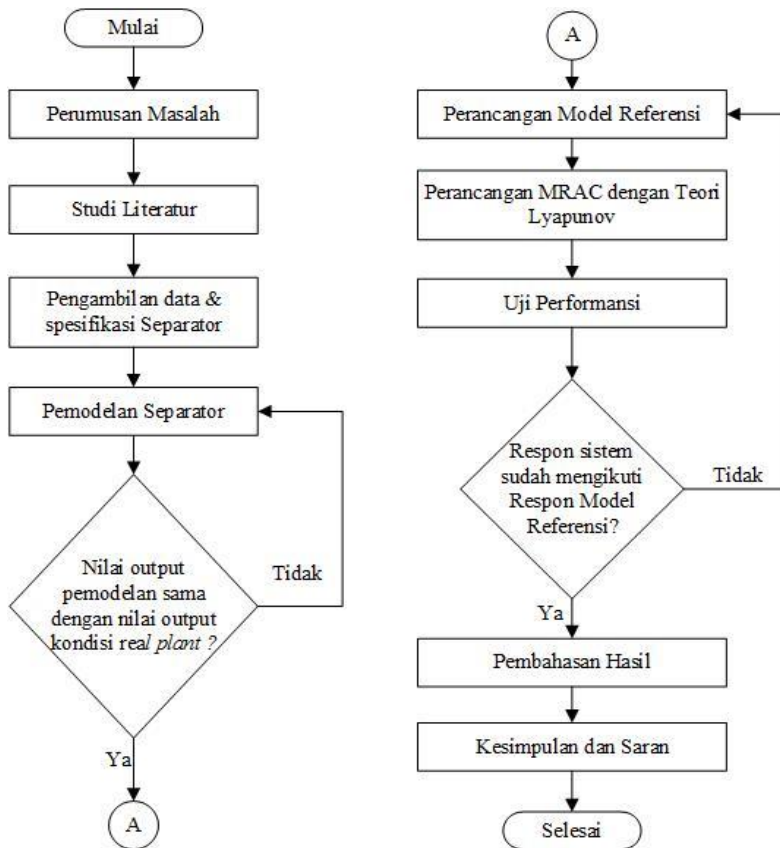
$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in} - Q_{out}) \quad (2.19)$$

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini memiliki tahapan-tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 yang dimulai dengan pengambilan data, pemodelan separator, validasi model, perancangan MRAC, pengujian performansi, analisis hasil pengujian, dan yang terakhir pembuatan laporan.



Gambar 3.1 Diagram alir metodologi penelitian

3.1 Pengambilan data dan spesifikasi *Plant*

Pengambilan data spesifikasi separator , sensor dan aktuator yang digunakan untuk pemodelan matematis meliputi laju aliran input, massa jenis liquid, data proses dan data desain. Pengambilan data dilakukan di Pabrik I (Urea) PT.Petrokimia Gresik Unit Konsentrasi . Berikut data-data yang digunakan pada tugas akhir ini dalam bentuk beberapa tabel.

Tabel 3. 1 Data Operasi Separator (FA-203)

Variabel	Notasi	Nilai dan satuan
Laju aliran <i>input liquid</i>	Q_{in}	$0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$
Massa jenis <i>liquid</i>	ρ_{liquid}	$1198 \text{ kg}/\text{m}^3$
<i>Level</i> maksimum	H_{max}	1 m
<i>Level</i> minimum	H_{min}	0 m

Tabel 3. 2 Data Desain Separator (FA-203)

Variabel	Notasi	Nilai dan satuan
Diameter atas separator	D_a	3,7 m
Diameter bawah separator	D_b	0,5 m
Tinggi tangki	L	11,15 m
Tekanan	P	50 mmHg
Temperature	T	132°C

Tabel 3. 3 Data Operasi *Level Transmitter* (Sensor)

Variabel	Notasi	Nilai dan satuan
<i>Level</i> maksimum	H_{max}	1 m
<i>Level</i> minimum	H_{min}	0 m
Arus maksimum	I_{max}	20 mA
Arus minimum	I_{min}	4 mA

Tabel 3. 4 Data Operasi Control Valve (Aktuator)

Variabel	Notasi	Nilai dan satuan
Laju aliran maksimum	Q_{\max}	$0,01630 \text{ m}^3/\text{s}$
Laju aliran minimum	Q_{\min}	$0 \text{ m}^3/\text{s}$
Arus maksimum	I_{\max}	20 mA
Arus minimum	I_{\min}	4 mA
Tekanan maksimum	P_{\max}	15 psi
Tekanan minimum	P_{\min}	3 psi

3.2 Pemodelan *Plant*

Pemodelan matematis separator menggunakan hukum kesetimbangan massa. Hukum ini menyatakan bahwa jumlah massa yang masuk ke dalam sistem sebanding dengan jumlah massa yang keluar dari sistem serta massa yang terakumulasi dalam sistem itu sendiri. Dengan menggunakan persamaan hukum kesetimbangan massa, maka proses pada Separator dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\left[\begin{matrix} \text{laju perubahan} \\ \text{massa} \end{matrix} \right] = \left[\begin{matrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{input} \end{matrix} \right] - \left[\begin{matrix} \text{Laju} \\ \text{massa} \\ \text{output} \end{matrix} \right]$$

Dengan menggunakan hukum kesetimbangan massa maka model matematis separator dapat ditulis sebagai berikut:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \sum \dot{m}_{in} - \sum \dot{m}_{out} \quad (3.1)$$

dimana :

$\rho \frac{dV}{dt}$: laju perubahan massa separator

$\sum \dot{m}_{in}$: total laju massa masukan (input)

$\sum \dot{m}_{out}$: total laju massa keluaran (output)

Apabila $V = A \times h$ dan $\dot{m} = \rho_{liquid} \times Q$ maka :

$$\rho_{liquid} A \frac{dh}{dt} = \sum \rho_{liquid} Q_{in} - \sum \rho_{liquid} Q_{out} \quad (3.2)$$

Karena nilai ρ_{liquid} memiliki nilai yang sama dapat dihilangkankan sehingga persamaan menjadi :

$$A \frac{dh}{dt} = (Q_{in} - Q_{out}) \quad (3.3)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (Q_{in} - Q_{out}) \quad (3.4)$$

dimana :

V : Volume separator (m^3)

A : luas penampang Separator (m^2)

$$: \pi r^2$$

$$: \pi(0,25)^2$$

$$: 0,19625 \text{ m}^2$$

h : Ketinggian / level (m)

Q_{in} : Flowrate liquid input (m^3/s)

Q_{out} : Flowrate liquid output (m^3/s)

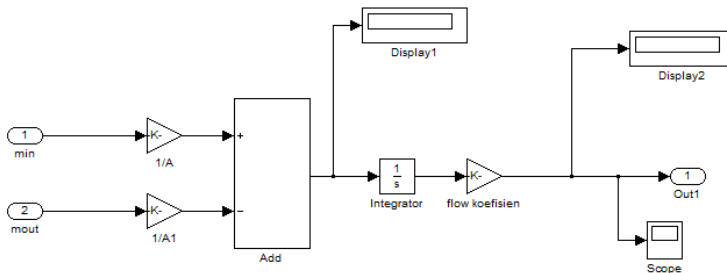
ρ_{liquid} : massa jenis liquid (kg/m^3)

Untuk mensimulasikan pada program Simulink Matlab maka Persamaan 3.4 diubah dalam bentuk laplace sebagai berikut :

$$H(s) = \frac{1}{As} (Q_{in}(s) - Q_{out}(s))$$

$$H(s) = \frac{1}{0,19625s} (Q_{in}(s) - Q_{out}(s)) \quad (3.5)$$

Gambar 3.2 menunjukkan simulasi separator pada program Simulink Matlab yang didapatkan dari persamaan 2.19.



Gambar 3.2 Simulink Plant Separator

3.3 Pemodelan Matematis Aktuator

Untuk mendapatkan model matematis control valve, dapat didekati dengan sistem orde satu (Coughanowr, 1991) dengan persamaan :

$$\frac{m_b(s)}{U(s)} = \frac{K_{cv}}{\tau_{cv}s+1} \quad (3.6)$$

dimana :

$m_b(s)$: laju aliran liquid (m^3/s)

$U(s)$: sinyal masukan ke control valve (Amp)

K_{cv} : Gain total control valve

τ_{cv} : time constant control valve

Gain control valve dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$K_{cv} = K \times G_\tau \quad (3.7)$$

Dengan nilai K dan G_τ didapatkan menggunakan persamaan (3.8) dan (3.9) sebagai berikut :

$$K = \frac{\text{Laju aliran max} - \text{Laju aliran min}}{\Delta \text{Pressure Inlet}} \quad (3.8)$$

Berdasarkan data yang terdapat pada tabel 3.4 maka didapatkan :

$$K = \frac{0,01630 \text{ m}^3/\text{s} - 0 \text{ m}^3/\text{s}}{15 \text{ psi} - 3 \text{ psi}}$$

$$K = 1,3583 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{psi}$$

Nilai G_τ didapatkan melalui persamaan (3.9) berikut:

$$\begin{aligned} G_\tau &= \frac{\Delta \text{Pressure Inlet}}{\Delta \text{Arus Outlet}} \\ G_\tau &= \frac{(15-3) \text{ psi}}{(20-4) \text{ mA}} \\ G_\tau &= 0,75 \text{ psi/mA} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Berdasarkan persamaan 3.8 dan 3.9 didapatkan nilai K_{cv} sebagai berikut :

$$K_{cv} = K \times G_\tau$$

$$K_{cv} = 1,3583 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{psi} \times 0,75 \text{ psi/mA}$$

$$K_{cv} = 1,01875 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{mA}$$

Konstanta waktu dari control valve dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\tau_{cv} = T_v(\Delta V + R_v) \quad (3.10)$$

dimana :

τ_{cv} = *time constant* katup pengendali (detik)

T_v = waktu *stroke* penuh (1,73 detik)

R_v = Perbandingan konstanta waktu *inverent* terhadap waktu *stroke*, untuk aktuatur diagram 0,03.

Untuk menghitung perubahan laju aliran pada control valve dapat digunakan persamaan 3.11 sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{\text{Laju aliran max} - \text{Laju aliran min}}{\text{Laju aliran max}} \quad (3.11)$$

$$\Delta V = \frac{0,01630 \text{ m}^3/\text{s} - 0 \text{ m}^3/\text{s}}{0,01630 \text{ m}^3/\text{s}} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sehingga dapat diketahui time constant (τ_{cv}) control valve adalah sebagai berikut:

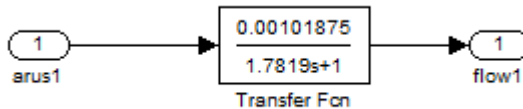
$$\tau_{cv} = 1,73(1 + 0,03)$$

$$\tau_{cv} = 1,7819 \text{ s}$$

Maka berdasarkan persamaan (3.6) fungsi transfer *control valve* adalah sebagai berikut:

$$\frac{m_b(s)}{U(s)} = \frac{1,01875 \times 10^{-3}}{1,7819s + 1} \quad (3.12)$$

Berikut diagram blok simulink *control valve* sebagai aktuatur yang digunakan dalam simulasi sistem MRAC pada *software* MATLAB R2011a.



Gambar 3.3 Diagram Blok Simulink Control Valve

3.4 Pemodelan Matematis *Level Transmitter*

Pada plant separator, sensor *level* yang digunakan adalah *Differential Pressure Transmitter*. Alat ini berfungsi untuk mengukur *level* air pada separator dengan memanfaatkan perbedaan tekanan yang kemudian dikonversikan menjadi arus. *Range input* pada *DP transmitter* ini 1 – 0 meter dengan waktu konstan 0,2 sekon. *Transmitter* yang digunakan mentransmisikan

sinyal ke kontroler dengan range 4-20 mA. Melalui Persamaan 3.13 dapat diperoleh nilai gain transmitter

$$G_T = \frac{\text{span output}}{\text{span Input}} \quad (3.13)$$

$$G_T = \frac{I_{maks} - I_{min}}{H_{maks} - H_{min}}$$

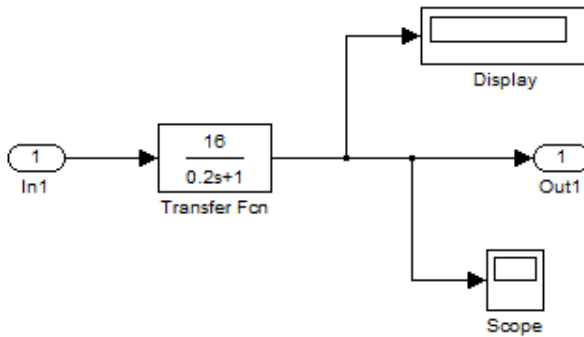
$$G_T = \frac{(20-4)mA}{(1-0)m} = 16 \text{ mA/m}$$

Sehingga dengan persamaan 3.13 dapat diperoleh persamaan fungsi transfer transmitter sebagai berikut :

$$\frac{M(s)}{U(s)} = \frac{G_T}{\tau_T s + 1} \quad (3.14)$$

$$\frac{M(s)}{U(s)} = \frac{16}{0,2s + 1}$$

Berikut diagram blok simulink *level transmitter* sebagai sensor yang digunakan dalam simulasi sistem MRAC pada *software* MATLAB R2011a.

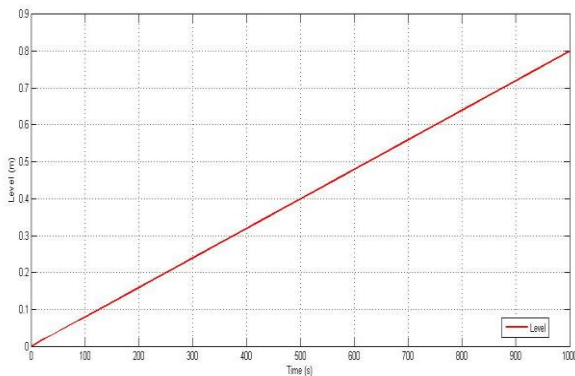


Gambar 3.4 Diagram Blok Simulink Level Transmitter

3.5 Validasi Pemodelan *Plant*

Validasi pemodelan *plant* separator dilakukan untuk memastikan persamaan matematis yang dimodelkan sesuai dengan kondisi riil *plant*. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai output (*level*) dari model dengan kondisi riil. Nilai output

(*level*) dari model didapatkan dari hasil simulasi ,sedangkan nilai output (*level*) dari kondisi riil didapatkan dari data hasil pengukuran yang dimiliki oleh PT.Petrokimia Gresik. Simulasi dilakukan dengan pemberian nilai input sebesar nilai input dalam kondisi riil yaitu $0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$. Nilai input berupa laju aliran input *liquid*. Input pada simulasi diberikan menggunakan *tools* sinyal *step*. Berikut respon sistem validasi pemodelan *plant* separator.



Gambar 3.5 Respon sistem validasi pemodelan *plant* Separator

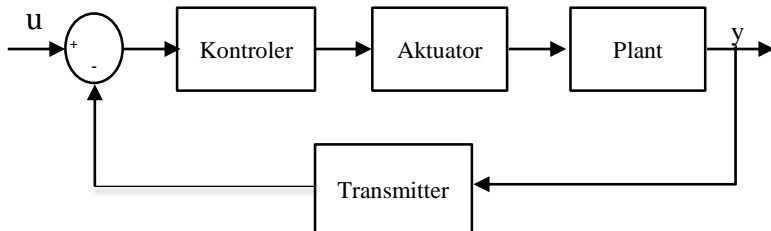
Gambar 3.5 menunjukkan grafik yang menghasilkan nilai output (*level*) sebesar 0,8 m. Nilai output hasil simulasi telah sesuai dengan data pengukuran yang dilakukan oleh PT.Petrokimia Gresik yaitu sebesar 0,8 m. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa sistem memiliki karakteristik linier karena pada saat terjadi penambahan input, maka secara otomatis *level* juga akan bertambah dan tidak konstan pada satu nilai *level*. Sehingga sistem *plant* tersebut perlu dikendalikan.

3.6 Perancangan Pengendalian *Proportional* dan *Integral* (PI)

Perancangan pengendalian PI dilakukan untuk mendapatkan nilai *gain* pengendali PI dengan menggunakan bantuan perangkat lunak matlab R2011a, sehingga didapatkan nilai K_p sebesar 2.4005 dan nilai K_i sebesar 0.0323. Nilai K_p dan K_i didapatkan

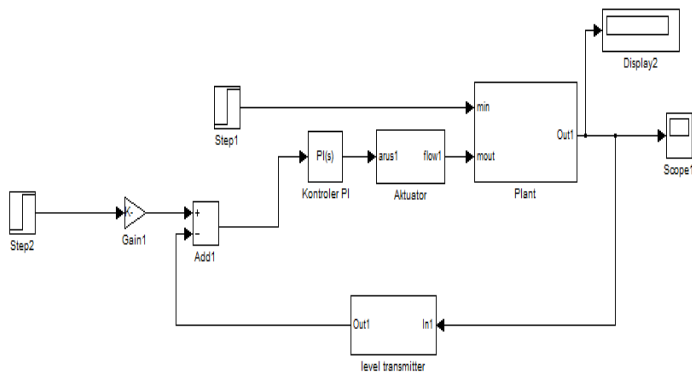
menggunakan metode *trial and error*. Perancangan PI pada sistem MRAC berfungsi sebagai pengendalian *inner loop*.

Selanjutnya dari nilai gain yang diperoleh, dilakukan simulasi pada *simulink* dengan bantuan *software* Matlab R2011a, dengan skema diagram blok seperti pada Gambar 3.6 berikut.



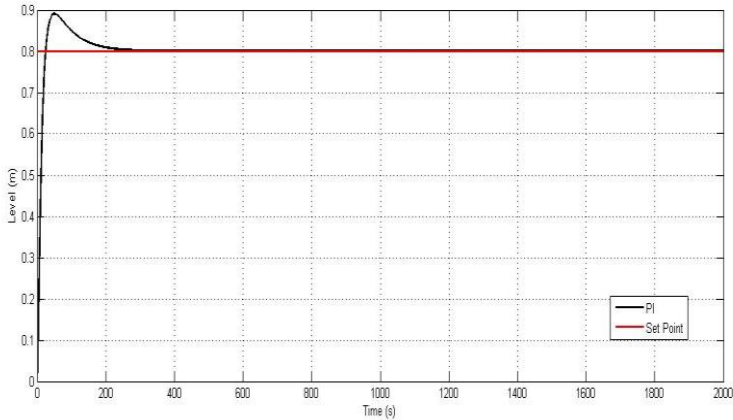
Gambar 3.6 Diagram Blok Sistem Pengendalian Closesloop

Struktur simulink pengendalian *level* pada separator dengan pengendalian PI ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Simulink Sistem Pengendalian Closesloop PI Separator

Dari simulink diatas, didapatkan hasil respon sistem yang ditunjukkan oleh gambar 3.8



Gambar 3.8 Respon Sistem Perancangan Pengendalian PI

Gambar 3.8 menunjukkan 2 grafik, yaitu grafik berwarna merah yang menunjukkan nilai *set point* dan grafik berwarna hitam yang menunjukkan hasil pengendalian PI. Nilai *set point* sebesar 0.8 m. Dari kedua grafik tersebut dapat diketahui bahwa sistem yang dirancang dengan pengendalian PI dapat bekerja dengan baik karena mampu mencapai nilai *set point* dengan karakteristik respon nilai *maximum overshoot* sebesar 0,89086 dan *settling time* pada detik ke 195,5443.

3.7 Perancangan Pengendalian MRAC

3.7.1 Perancangan *Model Reference*

Model reference merupakan model sistem yang responnya dijadikan acuan untuk diikuti oleh respon sistem yang sedang dikontrol. Pada tugas akhir ini *model reference* didapatkan dari hasil model pendekatan terhadap plant yang menggunakan mode kontrol PI. Respon yang dihasilkan plant saat menggunakan mode kontrol PI menunjukkan karakteristik respon sistem orde dua. Sehingga dalam merumuskan *model reference* menggunakan persamaan sistem orde 2.

Sistem orde dua mempunyai fungsi alih dengan pangkat s tertinggi dua. Biasanya dinyatakan dengan rasio redaman ζ ,

frekuensi alami tak teredam ω_n , yang dinyatakan dalam bentuk fungsi alih sebagai berikut:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.15)$$

atau

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\frac{1}{\omega_n^2}s^2 + \frac{2\zeta}{\omega_n}s + 1} \quad (3.16)$$

Sesuai kriteria ITAE nilai ζ sebesar $\frac{1}{2}\sqrt{2} \approx 0,707$. Sehingga *model reference* yang digunakan dalam perancangan MRAC pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\frac{1}{0,01^2}s^2 + \frac{2(0,707)}{0,01}s + 1}$$

3.7.2 Perancangan Algoritma *Adjustment mechanism*

Perancangan algoritma pengaturan parameter sistem adaptif dengan teori kestabilan Lyapunov didahului dengan melakukan penurunan persamaan diferensial dari error (Rusmawan, 2010)

$$e = y - y_m \quad (3.17)$$

Pada persamaan error diatas terdapat parameter-parameter yang dapat diatur untuk mencari fungsi Lyapunov dan mekanisme adaptasi sistem yang akan membuat error menjadi nol.

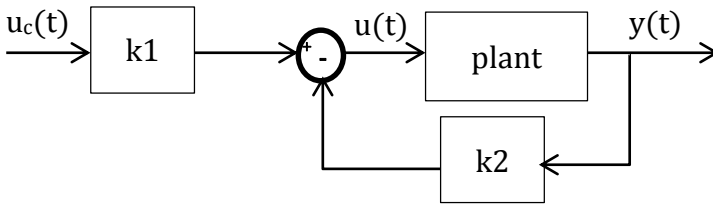
Diinginkan respon sistem mengikuti model sistem persamaan berikut :

$$\frac{dy_m}{dt} = -a_m y_m + b_m u_c \quad (3.18)$$

dan persamaan sistem proses adalah

$$\frac{dy}{dt} = -ay + bu \quad (3.19)$$

Pada perancangan ini digunakan kontroler dengan algoritma penempatan *Pole Placement*, dimana blok diagramnya dapat dilihat sebagai berikut (Rusmawan, 2010)



Gambar 3.9 Diagram Blok Pole Placement

Persamaan kontroler sistem akan dihasilkan seperti persamaan berikut :

$$u(t) = k_1 u_c(t) - k_2 y(t) \quad (3.20)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (3.19) dan (3.20), maka diperoleh nilai parameter k_1 dan k_2 seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$k_1 = \frac{b_m}{b} \quad (3.21)$$

$$k_2 = \frac{a_m - a}{b} \quad (3.22)$$

Error sistem merupakan selisih antara keluaran sistem dengan keluaran model yang ditunjukkan oleh persamaan (3.17). Untuk membuat *error* yang kecil, maka dilakukan penurunan persamaan *error*

$$\frac{de}{dt} = -a_m e - (bk_2 + a - a_m)y + (bk_1 - b_m)u_c \quad (3.23)$$

Error akan menuju nilai nol ketika parameter-parameternya sama seperti pada persamaan (3.21) dan (3.22). Agar nilai parameter k_1 dan k_2 sesuai dengan harga yang diinginkan maka dilakukan perancangan mekanisme pengaturan parameter. Diasumsikan $by > 0$ maka fungsi kuadrat Lyapunov didapatkan sebagai berikut:

$$V(e, k_1, k_2) = \frac{1}{2} \left[e^2 + \frac{1}{by} (bk_2 + a - a_m)^2 \right] + \frac{1}{by} (bk_1 - b_m)^2 \quad (3.24)$$

Fungsi diatas akan nol ketika nilai error nol dan parameter kontroler sesuai dengan harga yang diinginkan. Agar fungsi memenuhi kualifikasi sebagai fungsi Lyapunov, turunan $\frac{dV}{dt}$ harus negatif. Sehingga dari persamaan 3.24 diperoleh persamaan 3.25 berikut :

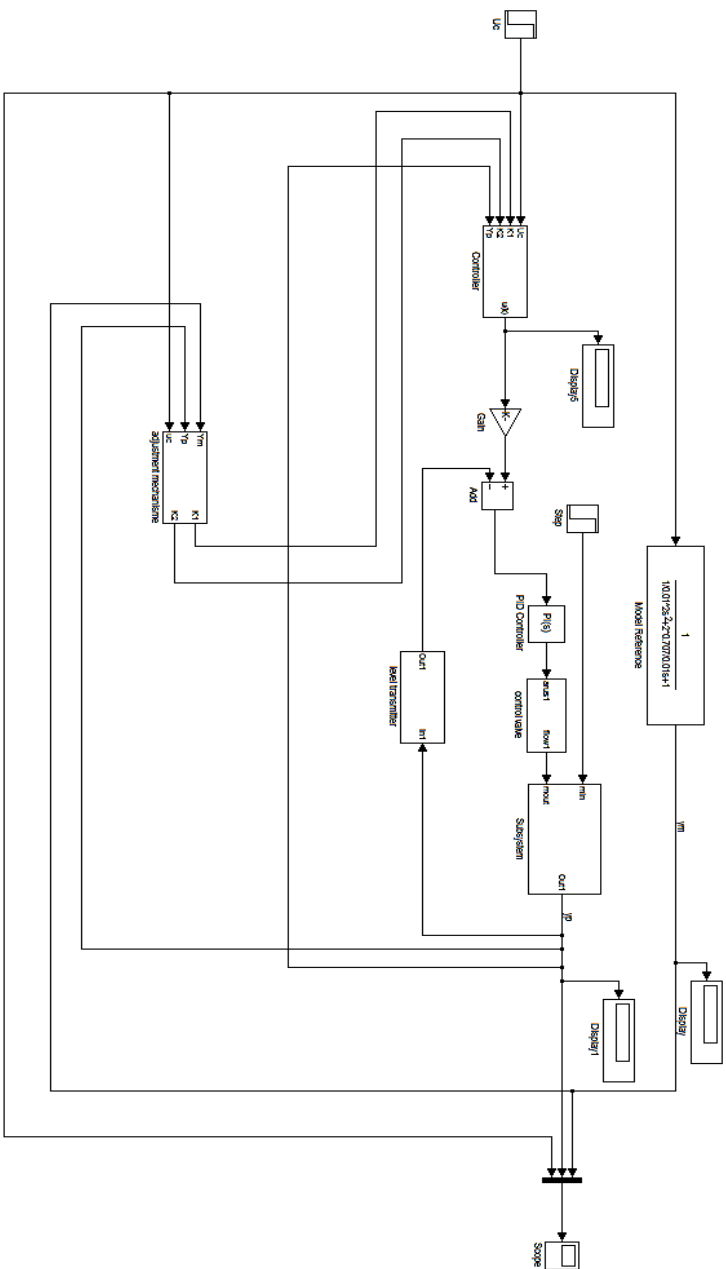
$$\begin{aligned}
\frac{dV}{dt} &= e \frac{de}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \frac{dk_2}{dt} + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \frac{dk_1}{dt} \\
&= -a_m e^2 + \frac{1}{\gamma} (bk_2 + a - a_m) \left(\frac{dk_2}{dt} - \gamma y e \right) + \frac{1}{\gamma} (bk_1 - b_m) \left(\frac{dk_1}{dt} + \gamma u_c e \right)
\end{aligned} \tag{3.25}$$

Dari persamaan (3.25) diperoleh persamaan untuk melakukan update parameter :

$$\frac{dk_1}{dt} = -\gamma_1 u_c(t) e \tag{3.26}$$

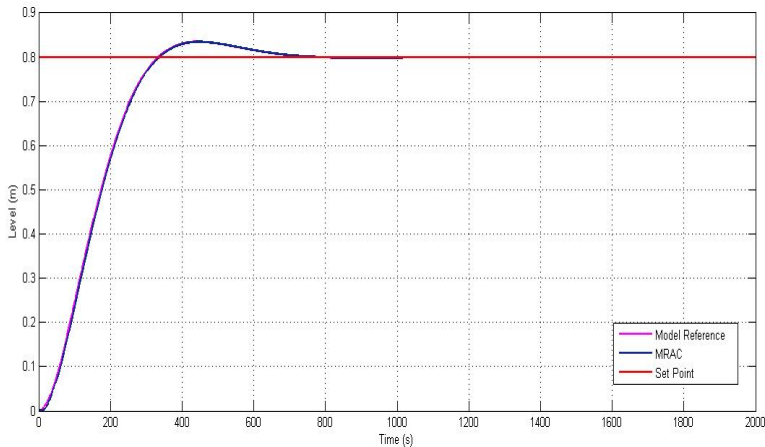
$$\frac{dk_2}{dt} = \gamma_2 y(t) e \tag{3.27}$$

Dari penurunan algoritma pengaturan parameter sistem adaptif dengan teori kestabilan Lyapunov diatas, dengan diperoleh persamaan untuk melakukan update parameter controller yang ditunjukkan oleh persamaan 3.26 dan 3.27, maka dapat dilakukan perancangan simulink MRAC dengan Matlab R2011a sesuai gambar 3.10 berikut



Gambar 3.10 Simulink MRAC

Dari simulink diatas, didapatkan hasil respon sistem MRAC yang ditunjukkan oleh gambar 3.11



Gambar 3.11 Respon Sistem MRAC

Gambar 3.11 menunjukkan 3 grafik, yaitu grafik berwarna merah menunjukkan *set point*, grafik berwarna merah muda menunjukkan *Model Reference*, dan grafik berwarna biru tua menunjukkan sistem MRAC. Nilai *set point* sebesar 0.8 m. Dari ketiga grafik tersebut dapat diketahui bahwa sistem yang dirancang dengan pengendalian MRAC dapat bekerja dengan baik karena respon *output* sistem yang ditunjukkan oleh grafik berwarna biru tua, mampu mengikuti respon model referensi dengan baik. Nilai *maximum overshoot* sebesar 0,83446 dan *settling time* pada detik ke 643,9.

“Halaman ini memang dikosongkan”

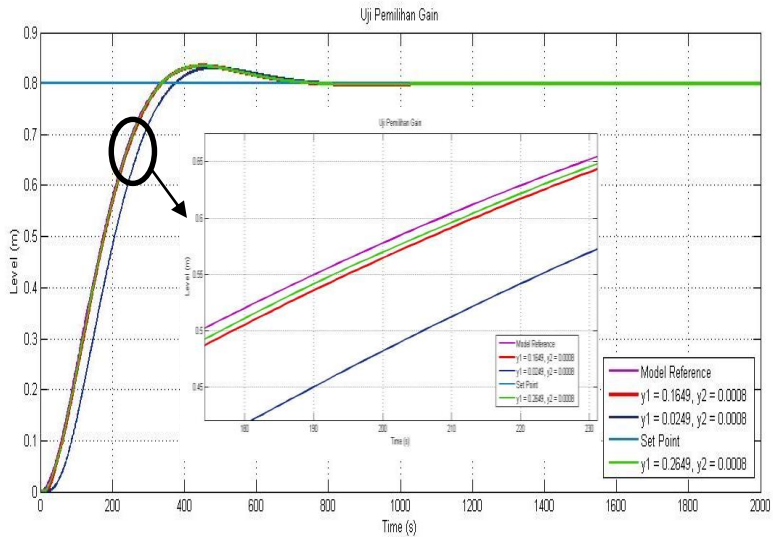
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas hasil pengujian dari sistem *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan variasi gain adaptasi (γ), pengujian *tracking* naik, pengujian *tracking* turun dan pengujian dengan pemberian gangguan.

4.1 Pengujian dengan variasi Gain Adaptif (γ)

Pengujian dilakukan menggunakan MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) dengan teori kestabilan *Lyapunov* dimana nilai gain adaptasi yang diberikan bervariasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performansi respon sistem dalam mengikuti respon model referensi (*model reference*). Besar nilai gain adaptasi yang digunakan pada sistem MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) berada pada rentang 0 sampai 1 (Fatih, 2009) ; 0,001 sampai 0,01 (Rusmawan, 2010); dan 0.00000010000 sampai 0.00000000001 (Sylvia, 2014). Dari ketiga penelitian tersebut, besar nilai gain adaptasi yang ditentukan dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan besar nilai gain adaptasi pada sistem MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) dalam tugas akhir ini. Penentuan besar nilai gain adaptasi dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error*. Sehingga nilai variasi gain adaptasi yang digunakan pada penelitian ini adalah $\gamma_1 = 0,2649$, $\gamma_1 = 0,1649$ dan $\gamma_1 = 0,0249$ dengan γ_2 sebesar 0,0008. Nilai gain adaptasi yang kedua (γ_2) bernilai konstan karena saat diberikan nilai gain adaptasi (γ_2) yang lebih kecil dari 0,0008, nilai output sistem yang dihasilkan bernilai tetap sedangkan ketika diberikan nilai gain adaptasi yang kedua (γ_2) lebih besar dari 0,0008, nilai output sistem yang dihasilkan juga semakin besar. Dalam pengujian variasi nilai gain adaptasi, nilai laju aliran *input liquid* yang digunakan sebesar $0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan *setpoint* 0.8 m. Grafik respon sistem untuk variasi nilai gain adaptasi (γ) dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Respon sistem untuk variasi nilai gain adaptasi (γ)

Simulink dari Gambar 4.1 dapat dilihat pada lampiran A1. Gambar 4.1 menunjukkan 5 grafik yaitu grafik berwarna ungu menunjukkan *model reference*, grafik berwarna biru muda menunjukkan *set point*, grafik berwarna merah menunjukkan $\gamma_1 = 0,1649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$, grafik berwarna biru tua menunjukkan $\gamma_1 = 0,0249$ dan $\gamma_2 = 0,0008$ dan grafik berwarna hijau menunjukkan $\gamma_1 = 0,2649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$. Grafik-grafik yang dihasilkan pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa besarnya nilai gain adaptasi mempengaruhi performansi respon sistem dalam mengikuti model referensinya. Nilai gain adaptasi yang berbeda menghasilkan respon sistem yang berbeda pula dalam mengikuti model referensinya. Nilai gain adaptasi terbesar yaitu $\gamma_1 = 0,2649$, menghasilkan respon sistem paling cepat dalam mengikuti model referensinya, sedangkan nilai gain terkecil $\gamma_1 = 0,0249$ menghasilkan respon paling lambat dalam mengikuti model referensinya. Apabila performansi ditinjau dari karakteristik respon sistem, dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data performansi berdasarkan karakteristik respon sistem dari masing-masing gain adaptasi

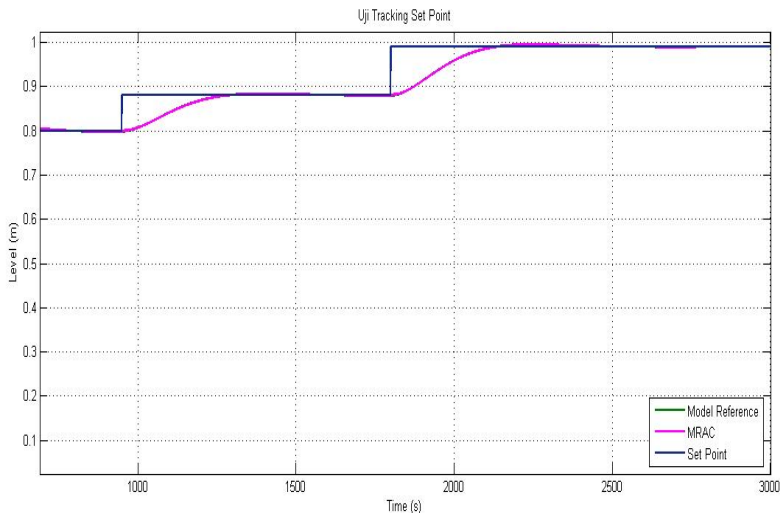
No	γ_1	γ_2	Rise time	Settling time	Error steady state	Prosentase Error steady state	IAE
1	0,2649	0,0008	336,729	644,065	0,000665	0,083105	203,2994
2	0,1649	0,0008	338,854	645,51	0,000667	0,083428	205,3944
3	0,0249	0,0008	373,417	669,968	0,000676	0,084557	236,5359

Tabel 4.1 menunjukkan data performansi berdasarkan karakteristik respon sistem yang dihasilkan dari masing-masing gain adaptasi yang diberikan. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa gain adaptasi terbesar yaitu $\gamma_1 = 0,2649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$ menghasilkan performansi respon sistem paling baik diantara ketiga variasi gain adaptasi. Performansi respon ditunjukkan dengan pencapaian *rise time* dan *settling time* paling cepat sebesar 336,720 detik dan 644,065 detik, memiliki *error steady state* paling kecil sebesar 0,000665 dengan prosentase *error steady state* sebesar 0,083105 %, dan nilai IAE (*Integral Absolut Error*) paling kecil sebesar 203,2994. Ketika gain adaptasi $\gamma_1 = 0,1649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$ menghasilkan *rise time* dan *settling time* sebesar 338,854 detik dan 645,51 detik, memiliki *error steady state* sebesar 0,000667 dengan prosentase *error steady state* sebesar 0,083428 dan nilai IAE (*Integral Absolut Error*) sebesar 205,3944. Sedangkan, ketika gain adaptasi paling kecil yaitu $\gamma_1 = 0,0249$ dan $\gamma_2 = 0,0008$ menghasilkan *rise time* dan *settling time* paling lambat sebesar 373,417 detik dan 669,968 detik, memiliki *error steady state* sebesar 0,000676 dengan prosentase *error steady state* sebesar 0,084557 dan nilai IAE (*Integral Absolut Error*) sebesar 236,5359. Dengan demikian, pemberian nilai gain adaptasi yang sesuai untuk diterapkan pada sistem MRAC adalah $\gamma_1 = 0,2649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$.

4.2 Pengujian *Tracking Naik*

Pengujian dilakukan menggunakan MRAC dengan teori kestabilan *Lyapunov* dimana nilai *set point* diubah naik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengikuti model referensi (*model reference*) yang berubah naik sesuai perubahan kenaikan *set point*. Nilai laju aliran *input liquid* yang digunakan adalah $0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai *set point* sebesar 0,8 m dan. Perubahan *set point* naik dapat dilakukan ketika respon sistem sudah stabil, maka perubahan *set point* dilakukan pada detik ke 950 sebesar 0,08 m dan detik ke 1800 sebesar 0,19 m. Sehingga nilai akhir (*final value*) *set point* yang dihasilkan pada detik 950 sebesar 0,88 m dan pada detik ke 1800 sebesar 0,99 m. Nilai akhir

set point tidak boleh melebihi 1 m karena tinggi separator sebesar 1 m. Apabila nilai akhir *set point* lebih dari 1 m maka fluida akan tumpah. Respon hasil pengujian perubahan kenaikan *set point* ditunjukkan pada Gambar 4.2. Dan simulink dari Gambar 4.2 dapat dilihat pada lampiran A2.



Gambar 4. 2 Respon sistem untuk uji *tracking* naik

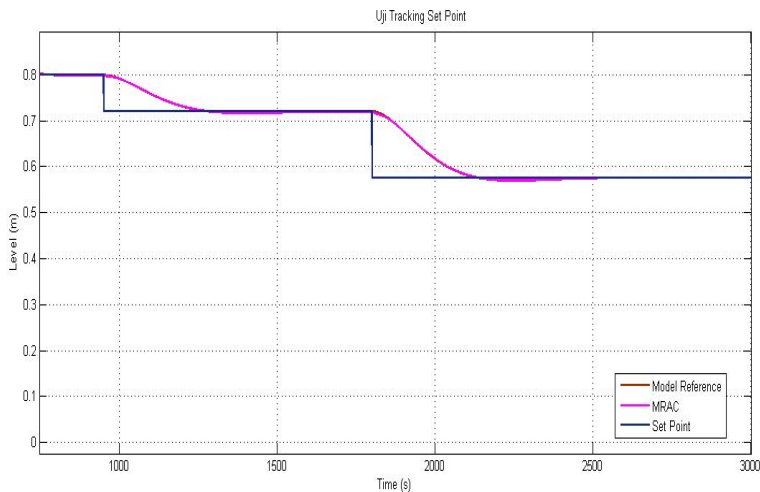
Gambar 4.2 menunjukkan 3 grafik yaitu grafik berwarna hijau menunjukkan *model reference*, grafik berwarna ungu menunjukkan MRAC dan grafik berwarna biru tua menunjukkan *set point*. Grafik *model reference* tidak terlihat secara detail dikarenakan respon MRAC sudah mengikuti *model reference* dengan baik sehingga grafik *model reference* tertutup oleh grafik MRAC.

Grafik respon sistem hasil pengujian *tracking* naik pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa respon sistem mampu mengikuti model referensi (*model reference*) yang berubah naik sesuai perubahan kenaikan *set point*. Dari Gambar 4.2 didapatkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang relatif kecil yaitu sebesar 0.0059 . Dengan demikian, sistem MRAC yang dirancang sudah

dapat bekerja dengan optimal dan kontroler yang dirancang sudah dapat beradaptasi terhadap adanya perubahan *set point* naik dengan baik.

4.3 Pengujian Tracking Turun

Pengujian dilakukan menggunakan MRAC dengan teori kestabilan *Lyapunov* dimana nilai *set point* diubah turun. Pengujian terhadap *tracking set point* turun dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengikuti *model reference* yang berubah turun sesuai perubahan penurunan *set point*. Nilai laju aliran *input liquid* yang digunakan adalah $0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai *set point* sebesar 0,8 m. Perubahan *set point* turun dapat dilakukan ketika respon sistem sudah stabil, maka perubahan *set point* dilakukan pada detik ke 950 sebesar 0,08 m dan detik ke 1800 sebesar 0,224 m. Sehingga nilai akhir (*final value*) *set point* yang dihasilkan pada detik 950 sebesar 0,72 m dan pada detik ke 1800 sebesar 0,576 m. Respon hasil pengujian perubahan penurunan *set point* ditunjukkan pada Gambar 4.3. Dan simulink dari Gambar 4.3 dapat dilihat pada lampiran A3.



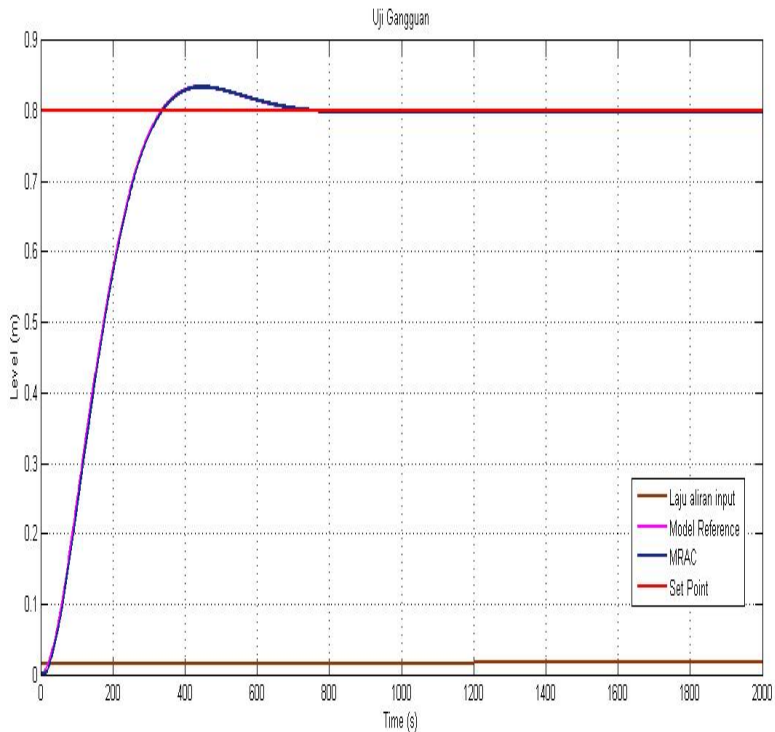
Gambar 4. 3 Respon sistem untuk uji *tracking* turun

Gambar 4.3 menunjukkan 3 grafik yaitu grafik berwarna merah tua menunjukkan model reference, grafik berwarna ungu menunjukkan MRAC dan grafik berwarna biru tua menunjukkan set point. Grafik model reference tidak terlihat secara detail dikarenakan respon MRAC sudah mengikuti model reference dengan baik sehingga grafik model reference tertutup oleh grafik MRAC.

Grafik respon sistem hasil pengujian *tracking* turun pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa respon sistem mampu mengikuti *model reference* yang berubah turun sesuai perubahan penurunan *set point*. Dan dari Gambar 4.3 didapatkan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang relatif kecil sebesar 0.0059 . Dengan demikian, sistem MRAC yang dirancang sudah dapat bekerja dengan optimal dan kontroler yang dirancang sudah dapat beradaptasi terhadap adanya perubahan *set point* turun dengan baik.

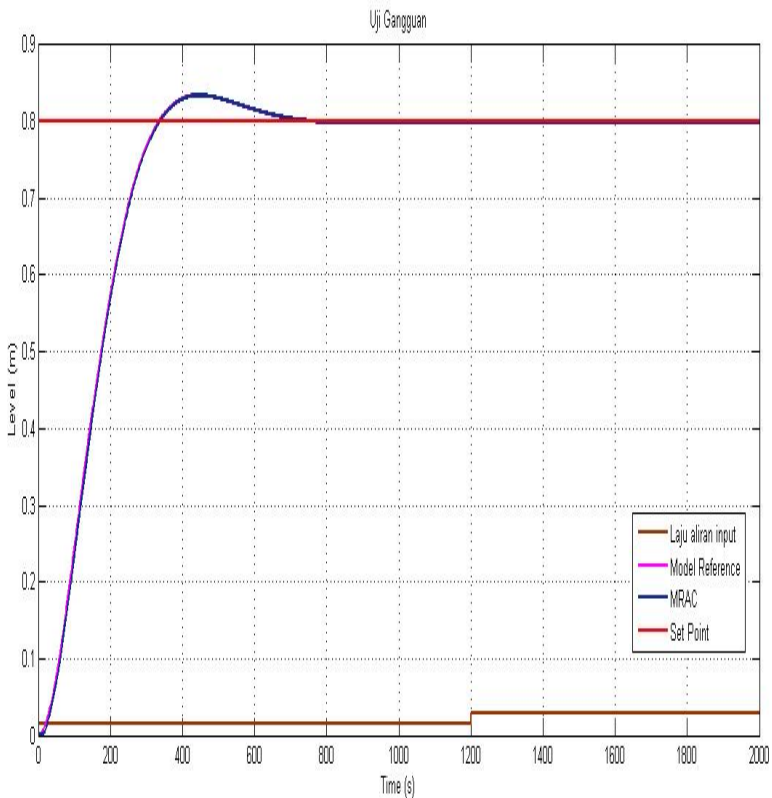
4.4 Pengujian dengan Pemberian Gangguan

Pengujian terhadap pengaruh gangguan pada sistem pengendalian *level* dilakukan dengan pemberian gangguan berupa perubahan laju aliran input sebesar 20%, 100%, 800%, dan 12.300% dari nilai nominal (nilai awal). Nilai nominal laju perubahan aliran input sebesar 0,0139 m³/s. Sehingga nilai gangguan yang diberikan pada sistem dari 20%, 100%, 800%, 12.300% nilai nominal sebesar 0,01668 m³/s ; 0,0278 m³/s ; 0,1251 m³/s dan 1,7236 m³/s. Gangguan dapat diberikan pada sistem ketika sistem sudah mencapai kondisi stabil. Sehingga gangguan diberikan pada detik ke 1200. Ketika *settling time* bernilai 4 kali *time constant* pada sistem orde dua, toleransi *error settling time* (batas perubahan *level*) yang digunakan sebesar 2% (Ogata, 2010). Sehingga batas perubahan level yang diperbolehkan ketika diberikan gangguan pada sistem ini sebesar 2% atau 16 mm. Respon yang dihasilkan sistem dari masing-masing pemberian gangguan dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 . Dan simulink dari Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat dilihat pada lampiran A4.



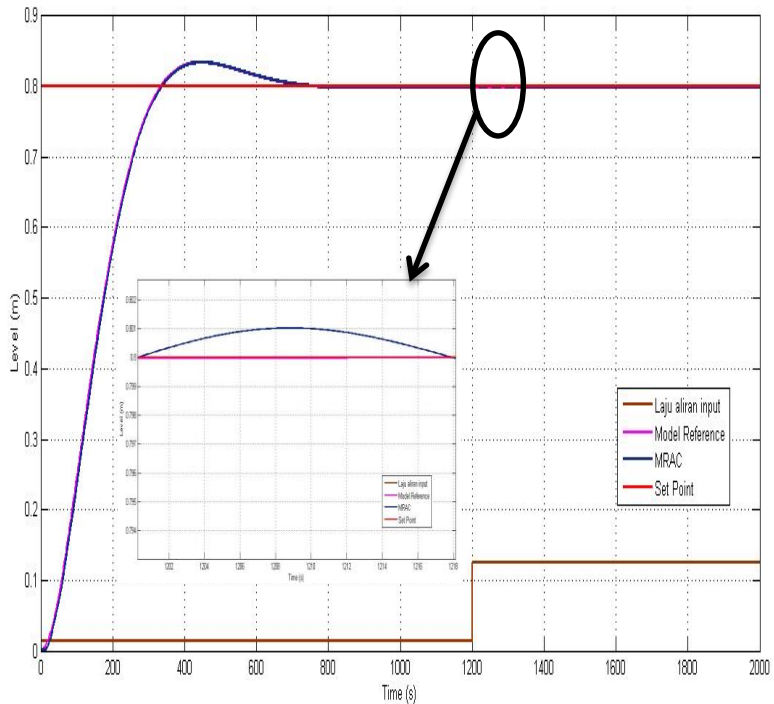
Gambar 4. 4 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar $0,01668 \text{ m}^3/\text{s}$

Pengujian gangguan yang pertama, sistem diberi gangguan sebesar 20% atau $0,01668 \text{ m}^3/\text{s}$. Gambar 4.4 menunjukkan 4 grafik yaitu grafik berwarna ungu menunjukkan *model reference*, grafik berwarna biru tua menunjukkan MRAC, grafik berwarna merah menunjukkan *set point*, dan grafik berwarna coklat tua menunjukkan laju aliran input. Dari respon yang dihasilkan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa sistem dapat mengatasi gangguan tersebut dengan baik karena tidak terjadi perubahan (osilasi) pada respon MRAC. Dengan demikian, perancangan sistem MRAC sudah berfungsi dengan optimal dan kontroler yang dirancang sudah dapat beradaptasi terhadap adanya gangguan dengan baik.



Gambar 4. 5 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 0,0278 m³/s

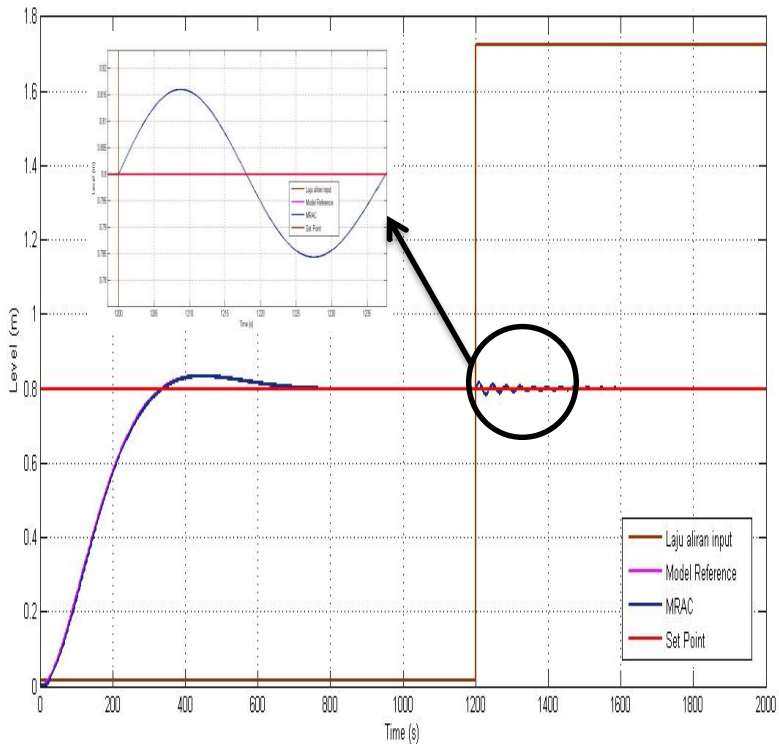
Pengujian gangguan yang kedua, sistem diberi gangguan sebesar 100% atau 0,0278 m³/s. Gambar 4.5 menunjukkan 4 grafik yaitu grafik berwarna ungu menunjukkan *model reference*, grafik berwarna biru tua menunjukkan MRAC, grafik berwarna merah menunjukkan *set point*, dan grafik berwarna coklat tua menunjukkan laju aliran input. Dengan pemberian gangguan tersebut sistem masih bisa mengatasi gangguan dengan optimal. Hal ini ditunjukkan pada grafik respon MRAC yang tidak mengalami perubahan (osilasi).



Gambar 4. 6 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 0,1251 m^3/s

Pengujian gangguan yang ketiga, sistem diberi gangguan yang ekstrim sebesar 800% atau 0,1251 m^3/s . Gambar 4.6 menunjukkan 4 grafik yaitu grafik berwarna ungu menunjukkan *model reference*, grafik berwarna biru tua menunjukkan MRAC, grafik berwarna merah menunjukkan *set point*, dan grafik berwarna coklat tua menunjukkan laju aliran input. Dengan pemberian gangguan tersebut terlihat adanya perubahan pada respon MRAC. Perubahan tersebut berupa osilasi. Sistem mengalami perubahan *level* sebesar 1 mm selama 170 detik. Batas perubahan level ketika diberikan gangguan sebesar 2% atau 16 mm. Sehingga, perubahan yang terjadi masih bisa diatasi oleh sistem karena perubahan yang

terjadi relatif kecil (dibawah 2%) dan sistem dapat mengembalikan nilainya sesuai nilai *model reference* dengan waktu yang singkat. Dengan demikian, sistem MRAC yang dirancang sudah dapat bekerja dengan optimal dan kontroler yang dirancang sudah dapat beradaptasi terhadap adanya gangguan dengan baik.



Gambar 4. 7 Respon sistem saat diberi gangguan sebesar 1,7236 m^3/s

Pengujian gangguan yang terakhir, sistem diberi gangguan sangat ekstrim sebesar 12.300% atau 1,7236 m^3/s . Gambar 4.7 menunjukkan 4 grafik yaitu grafik berwarna ungu menunjukkan *model reference*, grafik berwarna biru tua menunjukkan MRAC, grafik berwarna merah menunjukkan *set point*, dan grafik berwarna

coklat tua menunjukkan laju aliran input. Dengan pemberian gangguan tersebut terlihat adanya perubahan pada respon MRAC. Perubahan tersebut berupa osilasi. Sistem mengalami perubahan *level* sebesar 16 mm selama 330 detik. Batas perubahan level ketika diberikan gangguan sebesar 2% atau 16 mm. Sehingga, perubahan yang terjadi masih bisa diatasi oleh sistem, meskipun nilai perubahannya mencapai nilai batas maksimal dari perubahan level. Sistem juga dapat mengembalikan nilainya sesuai nilai *model reference* dengan waktu yang singkat. Dengan demikian, sistem MRAC yang dirancang sudah dapat bekerja dengan optimal dan kontroler yang dirancang sudah dapat beradaptasi terhadap adanya gangguan dengan baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan dari tugas akhir mengenai perancangan sistem pengendalian *level* berbasis MRAC (*Model Reference Adaptive Control*) pada separator PT. Petrokimia Gresik adalah :

1. Nilai gain adaptasi yang mampu bekerja pada sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik adalah $\gamma_1 = 0,2649$ dan $\gamma_2 = 0,0008$. Nilai gain tersebut menghasilkan performansi respon sistem MRAC terbaik diantara ketiga variasi nilai gain adaptasi.
2. Sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik mampu mengikuti perubahan set point naik dan turun. Perubahan set poin naik yang diberikan yaitu 0,08 m dan 0,19 m. Sedangkan perubahan set point turun yang diberikan sebesar 0,08 m dan 0,224m. Waktu yang dibutuhkan sistem MRAC untuk mengikuti perubahan set point naik dan turun sebesar 330 detik.
3. Sistem pengendalian *level* berbasis *Model Reference Adaptive Control (MRAC)* pada Separator PT. Petrokimia Gresik mampu mengatasi adanya gangguan dengan baik. Pemberian gangguan pada sistem MRAC sebesar 0,01668 m³/s (20%) ; 0,0278 m³/s (100%) ; 0,1251 m³/s (800%) dan 1,7236 m³/s (12.300%). Pada pemberian gangguan 800% sistem mengalami kenaikan *level* sebesar 1 mm selama 170 detik dan pada pemberian gangguan 12.300 % sistem mengalami kenaikan *level* sebesar 16 mm selama 330 detik. Kenaikan ini tidak terlalu berpengaruh pada sistem karena nilai perubahan masih pada batas perubahan *level*.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu dalam menentukan gain adaptif dapat menggunakan metode *genetic algorithm*. Karena saat menentukan gain adaptif menggunakan metode *trial and error* membutuhkan ketelitian dan belum tentu mendapatkan hasil yang terbaik.

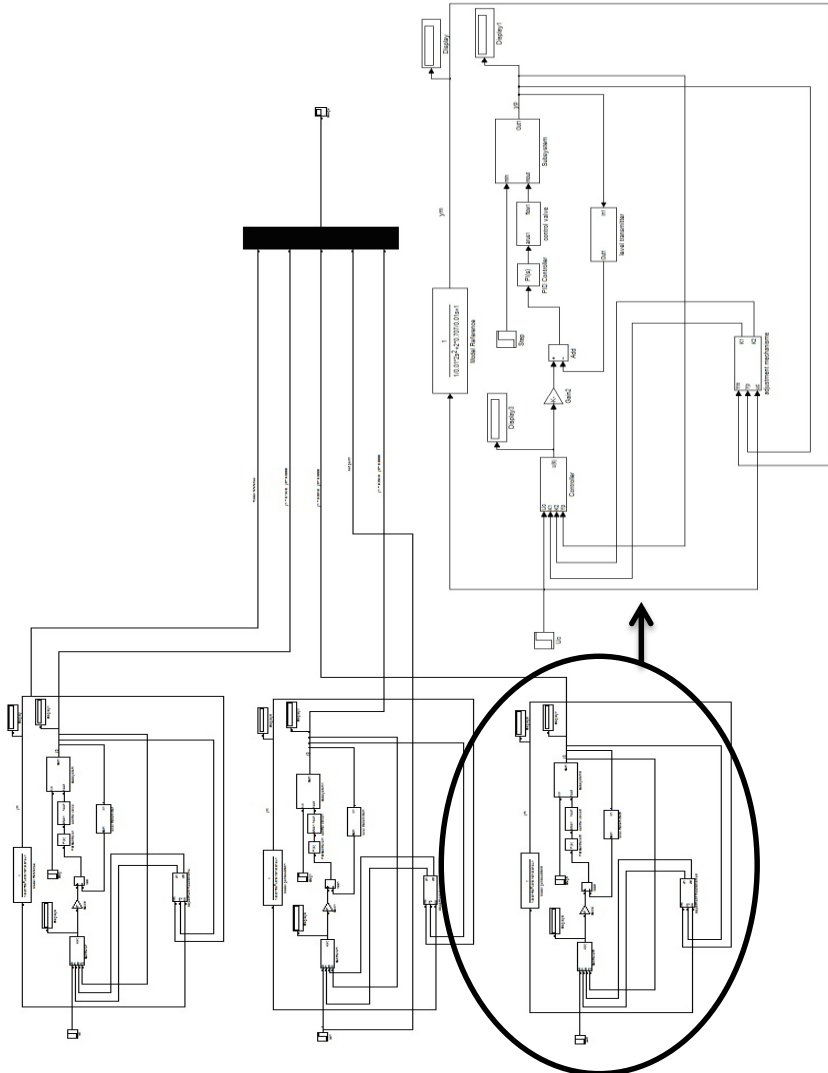
DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2017). *Instruction Technical Book*. Gresik: PT. Petrokimia Gresik.
- Astrom, K. J., & Wittenmark, B. (2006). *"Adaptive Control Second Edition"*. Sweden: Department of Automatic Control.
- Chandra, A. D. (2012). "Rancang Bangun Kontrol pH Berbasis Self Tuning PID Melalui Metode Adaptive Control". *Jurnal Teknik Pomits*, 1-6.
- Fatih, I., Wahyudi, S.T, M.T, & Setiyono, S.T, M.T, B. (2009). "Aplikasi Metode Model Reference Adaptive Control (MRAC) Pada Plant Pengaturan Level Cairan Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535". *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Gamayanti, N. (2011). *"Diktat Kuliah Dasar Sistem Pengaturan"*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- K, A. K., Jose, A., M, D., & M, S. M. (2015). "Design of Adaptive Controller for a Level Process". *International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 6 Issue 4*, 1830-1833.
- Mahmod, F. F. (2016). *"Perancangan Kontroler PI Dengan Teknik MRAC Untuk Pengaturan Level Pada Coupled Tank"*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nasiruddin, M. (2005). "Direct Model Reference Adaptive Control of Coupled Tank Liquid Level Control System". 1-133.
- Rusmawan, F. (2010). "Aplikasi Kendali Adaptif Pada Sistem Pengaturan Temperatur Cairan Dengan Tipologi Kendali Model Reference Adaptive Controller (MRAC)". *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Saad, M., Albagul, A., & Abueejela, Y. (2014). "Performance Comparison between PI and MRAC for Couple Tank System". *Journal of Automation and Control Engineering Vol. 2, No. 3*, 316-320.

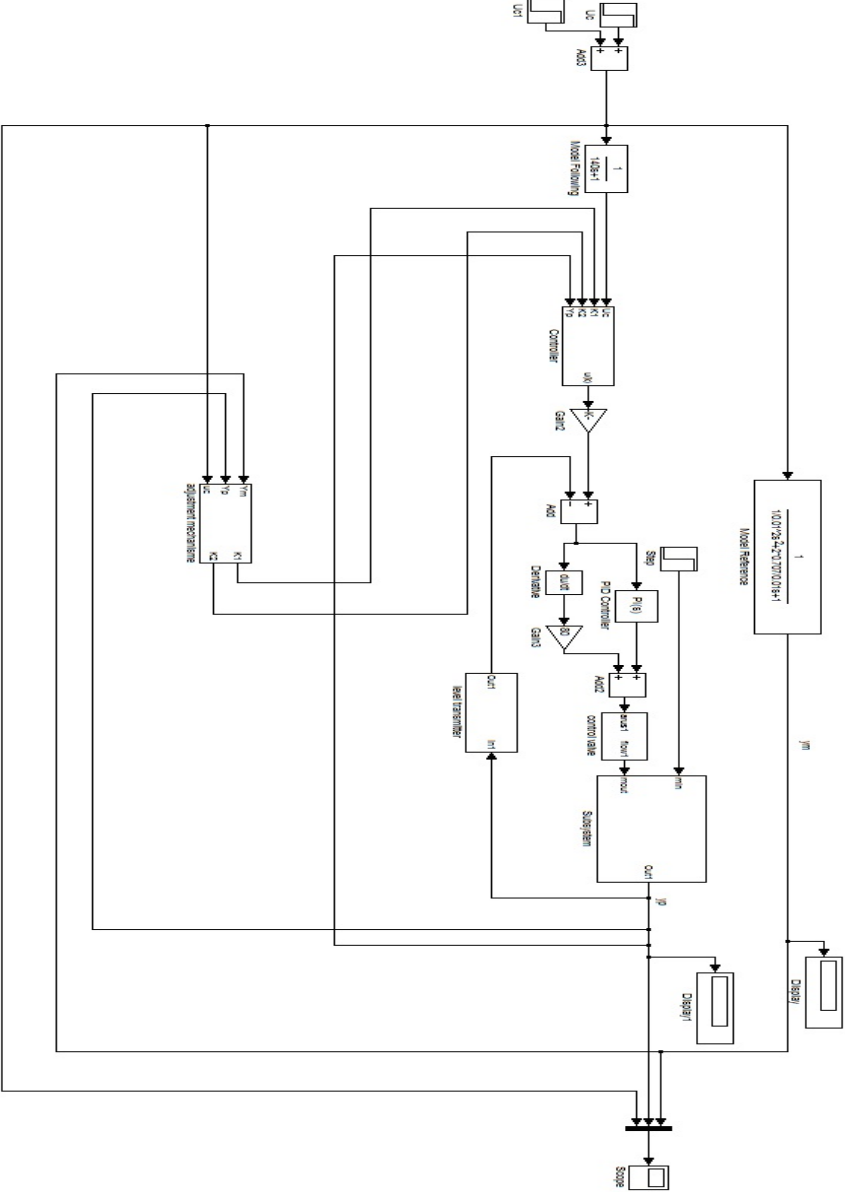
Sylvia, A. (2014). "Perancangan dan Simulasi MRAC PID Control untuk Proses Pengendalian Temperatur Pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)". *Jurnal Teknik Pomits Vol. 3, No.1*.

LAMPIRAN A

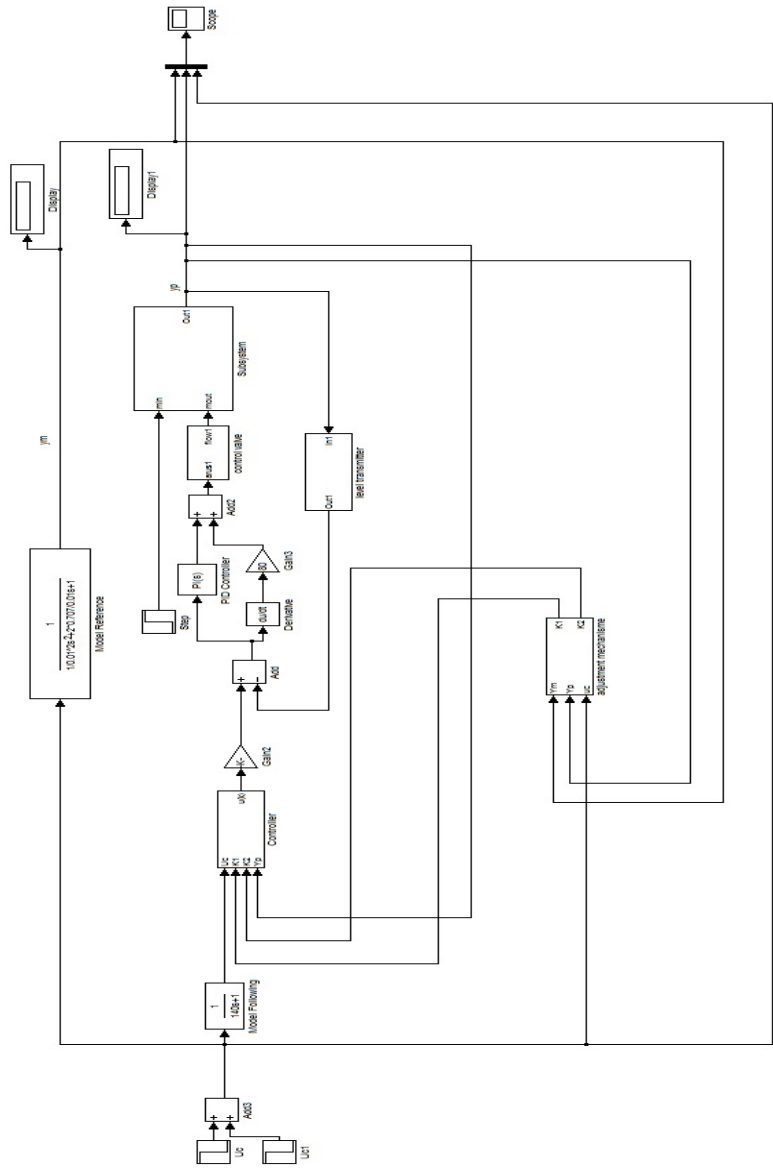
A1. Simulink Pengujian Variasi gain Adaptasi



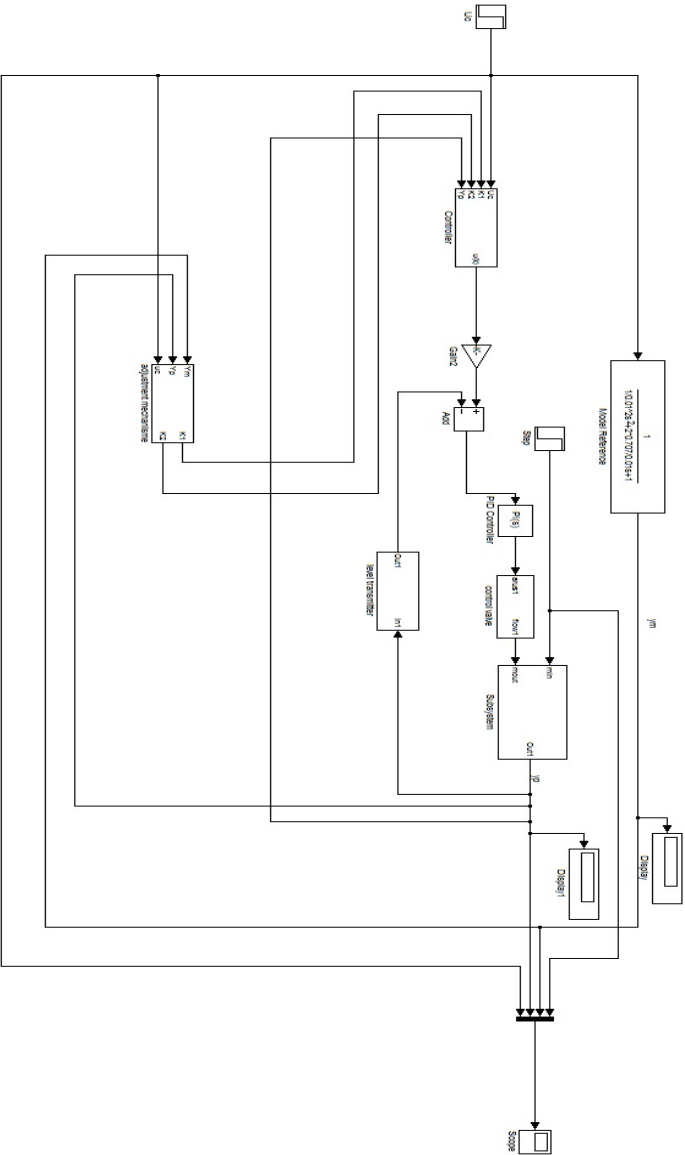
A2. Simulink Pengujian Tracking naik



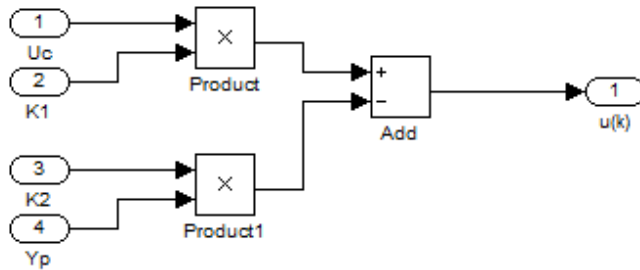
A3. Simulink Pengujian Tracking turun



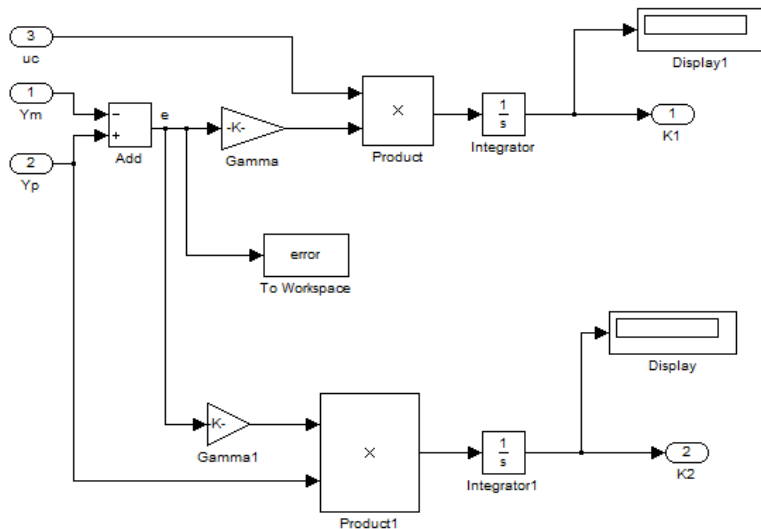
A4. Simulink Pengujian dengan pemberian gangguan



A5. Simulink Kontroler MRAC dengan Algoritma Pole Placement



A6. Simulink Adjustment mechanism with Teori Kestabilan *Lyapunov*



BIODATA PENULIS



Nama penulis Ira Nur Widiyanti dilahirkan di Mojokerto, tanggal 23 Desember 1994 dari bapak yang bernama Hadi Susanto dan ibu bernama Dian Arini. Saat ini penulis tinggal di Jalan Rajasanegara I / Kav.104 RT 01 RW 03 Desa Kenanten – Puri, Mojokerto, Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Gedongan III pada tahun 2007, pendidikan di SMPN 1 Kota Mojokerto pada tahun 2010, pendidikan di SMAN 1 Sooko pada tahun 2013 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

Pada bulan Juni 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan Sistem Pengendalian Level Berbasis Model Reference Adaptive Control (MRAC) Pada Separator PT.PETROKIMIA GRESIK** Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : widhiyantii48@gmail.com